S38.25.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Johann Samuel Traugott Gehler's

Physikalisches
Wörterbuch

neu bearbeitet

von

Brandes. Gmelin. Horner. Muncke. Pfaff.

Siebenter Band.

Zweite Abtheilung.

Po — R.

Mit Kupfertafeln VIII bis XXVI.

Leipzig,
bei E. B. Schwickert.
1834.

Digitized by Google

S 38.25

Digitized by Google

Physikalisches Wörterbuch

VII. Band.

Zweite Abtheilung.

Po — R.

Digitized by Google

Digitized by Google

P.

P o l.

***P**olus;* le Pole; *the Pole.*

Das Wort Pol ist aus dem griechischen *πόλος* entnommen, welches von *πέλω* oder *πολέω* (ich drehe um) abgeleitet wird und die Endpuncte einer Linie oder Axe bezeichnet, um welche sich ein Körper dreht. Auf der Kugel gehört daher zu jedem Kreise derjenige Punct als *Pol*, welcher, in der Oberfläche der Kugel liegend, von allen Puncten des Kreises gleich weit entfernt ist. Da es allemal zwei solche, an den Enden eines Durchmessers einander gegenüber liegende, Puncte giebt, so hat jeder Kreis zwei Pole. Wenn auf der Kugel mehrere Kreise, deren Ebenen parallel sind, gezeichnet vorkommen, so haben sie alle dieselben Pole, indem diese in der gegen die Ebenen aller dieser Kreise senkrechten Linie da liegen, wo diese die Kugelfläche schneidet.

Die Pole zweier gröſsten Kreise der Kugel liegen auf der Kugelfläche um eben so viele Grade auseinander, als der Neigungswinkel der Ebenen jener beiden Kreise angiebt; denn ihr Abstand ist das Maſs des Winkels, den die beiden gegen die Ebenen der Kreise durch den Mittelpunct der Kugel gezogenen Senkrechten mit einander machen. Die Ebene des durch die vier Pole zweier gröſsten Kreise gezogenen Kreises ist zugleich senkrecht auf die Durchschnittslinie dieser Kreise.

Wenn eine Kugel sich um ihre Axe dreht, so heiſsen die Endpuncte der Axe vorzugsweise *die Pole* oder auch die Pole der Umdrehung. Daher sind die beiden *Pole der Erde* die Puncte, welche bei der Rotation der Erde unbewegt bleiben. Sie sind zugleich die Pole des Erd-Aequators und der zu ihm gehörenden Paral-

Digitized by Google

lelkreise. Ebenso versteht man unter den *Polen der Himmelskugel* oder den *Weltpolen* die Puncte, die bei der scheinbaren Drehung der Himmelskugel ruhend bleiben [1].

Die *Pole der Ekliptik* (*Poli Eclipticos, les Poles de l'Écliptique*) liegen 90° von jedem Puncte der als ein gröſster Kreis gleichsam an die Himmelskugel gezeichneten Ekliptik. Sie stehn um ebensoviel von den Weltpolen oder den Polen der Himmelskugel ab, als die Schiefe der Ekliptik beträgt, und liegen in dem durch die Weltpole und Solstitialpuncte gelegten gröſsten Kreise. Die gegen den Pol der Ekliptik gerichtete Linie ist senkrecht gegen die Ebene, in welcher die Erde sich um die Sonne bewegt, und der Abstand des Poles der Ekliptik vom Zenith zeigt uns in jedem Augenblicke die Neigung unsers Horizontes gegen die Ebene der Erdbahn. Der Nordpol der Ekliptik liegt im Sternbilde des Drachen, zwischen dem Polarsterne und dem Kopfe des Drachen ungefähr da, wo eine durch die sogenannten Vorderräder des groſsen Wagens gehende Linie verlängert in jene Richtungslinie einschneidet. Der Südpol der Ekliptik liegt im Schwertfische.

Da der Pol der Ekliptik 23½° vom Weltpole entfernt liegt, so durchläuft er vermöge der täglichen Bewegung der Erde scheinbar einen Kreis am Himmel. Unter den Sternen verändert der Pol der Ekliptik seine Stelle sehr wenig, statt daſs der Weltpol, der Drehungspol der Himmelskugel, im Laufe von Jahrhunderten fortrückt. Diese letzte Bewegung ist verbunden mit dem Rückgehen der Nachtgleichen und entsteht dadurch, daſs die Umdrehungs-Axe der Erde sich nach und nach gegen andere Sterne wendet; diese Aenderung der Lage der Erd-Axe ist so, daſs der Weltpol einen Kreis um den Pol der Ekliptik beschreibt. Dieser selbst aber ändert nur um so wenig, als die Ebene der Erdbahn selbst ihre Lage ändert, seine Stellung am Himmel. B.

Polarisation des Lichts.

Polarisatio luminis; Polarisation de la lumière; *Polarisation of light.*

1. Wir sind gewohnt, einen Lichtstrahl, der auf eine spie-

---

1 Vergl. Art. *Polarstern.*

gelnde Oberfläche fällt, immer zurückgeworfen zu sehn, und diese Erfahrung findet auch ohne Ausnahme statt für das unmittelbar von der Sonne oder von einer Lichtflamme zu der Spiegelfläche gelangende Licht; aber wenn der Lichtstrahl schon eine Zurückwerfung oder Brechung erlitten hat, oder wenn er durch einen doppelt brechenden Krystall gegangen ist, so ist es nicht so ohne Ausnahme wahr, daſs dieser Lichtstrahl an der polirten Oberfläche eines durchsichtigen Körpers zurückgeworfen wird, sondern wenn dieses auch statt findet, wenn die Oberfläche ihm an seiner einen Seite dargeboten wird, so findet es nicht immer auch dann statt, wenn die Spiegelfläche an einer andern Seite liegt. Der Lichtstrahl zeigt also an verschiedenen Seiten verschiedene Eigenschaften, und dieses ist es, was zu dem Namen *Polarisation, Polarisirung* geführt hat. Biot[1] bezieht diese Eigenschaft ganz entschieden auf die Lage der Lichttheilchen, die sich da, wo die Polarisation statt findet, im Raume so ordnen, daſs ihre übereinstimmenden Seiten alle nach *einer* Gegend gewandt sind, und vergleicht die Kräfte, welche dieses bewirken, mit der magnetischen Kraft, die eine Menge Magnetnadeln nöthigt, ihre Pole alle nach *einer* Richtung zu wenden[2].

2. Schon Huyghens hat eine Erscheinung beobachtet, welche diese Veränderung, die der Lichtstrahl unter gewissen Umständen erleidet, zeigt, und hat dabei bemerkt, daſs seine Erklärung der übrigen Erscheinungen der doppelten Brechung mit Hülfe der Undulationstheorie noch eine Hinzufügung anderer Voraussetzungen fordern würde, um auf diese Erscheinung angewandt zu werden. Die Beobachtung ist diese. Wenn ein Lichtstrahl durch den isländischen Krystall oder Doppelspath gegangen ist und dort die doppelte Brechung oder die Zerspaltung in zwei Lichtstrahlen erlitten hat, deren einer nach den gewöhnlichen Brechungsgesetzen, der andere nach einem ungewöhnlichen Gesetze in diesem Krystalle gebrochen worden ist, so verhalten diese beiden Lichtstrahlen, wenn sie auf einen zweiten Doppelspathkrystall fallen, sich nicht wie gewöhnliche Lichtstrahlen, sondern wenn beide Krystalle mit ihren den Strahl

1 Traité de Physique u. s. w. T. IV. p. 253.

2 Die Circularpolarisation ist in dieser Erklärung nicht mit enthalten. S. nr. 114.

Digitized by Google

auffangenden Seiten parallel stehn, und zugleich so, daſs die rhomboidalischen Seiten eine gleiche Lage haben, so zerspalten die zwei Strahlen sich nicht in vier, sondern beide gehn ungespalten durch; dasselbe findet statt, wenn man den zweiten Krystall, mit Beibehaltung der parallelen Lage der Einfallsflächen, um 90° dreht; aber es findet nicht mehr statt, wenn man diese Drehung weniger als 90° betragen läſst oder sie bis über 90° fortführt, in welchem Falle beide Strahlen wieder gespalten werden und vier hervorgehende Strahlen geben. Führt man den Versuch mit Genauigkeit aus, so sieht man, a) wenn beide Krystalle in ganz ähnlicher Lage sind, also auch die zwischen den beiden stumpfen Winkeln des einen wie des andern Krystalls gezogenen Axen parallel liegen, daſs der im ersten Krystalle gewöhnlich gebrochene Strahl auch im zweiten die gewöhnliche Brechung leidet, der ungewöhnlich gebrochene Strahl die ungewöhnliche Brechung; b) wenn man den zweiten Krystall so dreht, daſs zwar die Einfalls-Ebenen beider parallel bleiben, aber die Lage des zweiten um 90° von der Lage des ersten abweicht, so wird derjenige Strahl im zweiten Krystalle ungewöhnlich gebrochen, der im ersten gewöhnlich gebrochen war, und der im ersten ungewöhnlich gebrochene leidet hier die gewöhnliche Brechung; c) wenn jene Drehung 45° beträgt, so sind beide aus dem ersten Krystalle hervorgegangene Strahlen in zwei gleiche Strahlen gespalten, statt daſs diese vier Strahlen ungleich an Intensität sind, wenn die Drehung zwischen 0° und 45° oder zwischen 45° und 90° liegt; je näher die Drehung an 0° liegt, desto schwächer tritt aus dem zuerst gewöhnlich gebrochenen Strahle der ungewöhnlich gebrochene und aus dem ungewöhnlich gebrochenen der gewöhnlich gebrochene hervor, während die im zweiten Krystalle nach demselben Gesetze, wie im ersten, gebrochenen Strahlen eine starke Intensität zeigen, und ebenso geht der im zweiten Krystalle nach dem einen und im ersten Krystalle nach dem andern Gesetze gebrochene Strahl mit stärkerer Intensität hervor, je näher die Drehung an 90° kommt.

3. An dieses Experiment knüpfte Newton in ſeiner Optik [1] die Frage, ob nicht die verschiedenen Seiten des Lichtstrahls verschiedene Eigenschaften beſäſsen? Der eine Strahl zeige nämlich keineswegs eine immer statt findende Eigenschaft,

---

1 Newtoni Optice. Lib. III. Quaest. 18.

der ungewöhnlichen Brechung unterworfen zu seyn, der andre der gewöhnlichen Brechung, sondern es komme auf die Lage der einen oder der andern Seite des Strahls gegen die Richtung der ungewöhnlichen Brechung des Krystalls an. Die Eigenschaft, bald gewöhnlich, bald ungewöhnlich gebrochen zu werden, sah Newton als eine *dispositio congenita* der Lichtstrahlen an; auch die auf die erste Oberfläche eines Krystalls fallenden Strahlen werden, glaubt er, nur darum der eine gewöhnlich, der andre ungewöhnlich gebrochen, weil bei einigen Lichttheilchen die Seite gewöhnlicher Brechung, bei den andern die Seite ungewöhnlicher Brechung der ungewöhnlich brechenden Gegend oder Seite des Krystalls zugewandt waren.

4. Diese Erscheinung blieb als ein einzelnes Räthsel unerklärt, bis Malus die doppelte Brechung einer neuen Untersuchung unterwarf. Diese zeigte [1], daſs dieselbe Uebereinstimmung der Einwirkung, welche sich bei zwei Doppelspathkrystallen fand, bei allen zwei doppelt-brechenden Materien statt finde. War ein gewöhnlicher Strahl durch Bergkrystall doppelt gebrochen und traf dann auf einen Kalkspath (Doppelspath), so zeigten sich jene beiden Strahlen denselben Gesetzen unterworfen, wie wenn sie aus einem Kalkspath hervorgegangen wären, und es ergab sich also, daſs die Modification, welche bei der doppelten Brechung der ungewöhnlich gebrochene Strahl und welche der gewöhnlich gebrochene Strahl erlitten hat, eine und dieselbe ist, es mochte die doppeltbrechende Substanz seyn, welche man wollte. Malus bemerkte, daſs man die Lichtstrahlen, welche diese Modification erlitten haben, erkennen könne, wenn man sie, senkrecht auffallend auf die Oberfläche eines Doppelspaths, durch diesen zum Auge gelangen lieſse, indem die zwei Bilder, die man dann sieht, bei jeder Stellung des Doppelspaths gleiche Intensität haben, wenn der Strahl ein unpolarisirter Strahl ist, ein solcher, wie wir ihn von der Sonne und von brennenden Körpern unmittelbar erhalten, dagegen zwei ungleiche Bilder hervorgehn, und zwar wechselnd an Intensität bei der Drehung des Doppelspathkrystalls, wenn der Strahl polarisirt ist. Besteht der Strahl ganz aus polarisirtem Lichte, so verschwindet bei dieser Drehung des Krystalls das eine Bild

1 Mém. sur la théorie de la double réfraction. Paris 1810. p. 220. Auch G. XXXI. 274.

bei gewissen Lagen des Krystalls gänzlich; ist er gemischt aus polarisirtem und unpolarisirtem Lichte, so zeigt sich wenigstens eine bald mehr bald minder merkliche Ungleichheit beider Bilder, die bei jeder Viertel-Umdrehung ihr Maximum und Minimum erreicht.

I. Polarisirung durch Zurückwerſung von spiegelnden Oberflächen.

5. Diese Bekanntschaft mit einem Mittel zur Erkennung der polarisirten Strahlen gab die Veranlassung, daſs Malus in den durch Spiegelung reflectirten Strahlen eine Polarisation erkannte. Er bemerkte nämlich, daſs das von Fenstern reflectirte Sonnenlicht, wenn er es durch einen doppelt brechenden Körper betrachtete, zwei Bilder von ungleicher Intensität gab, und daſs unter diesen Bildern das eine oder das andere lebhafter hervortrat, wenn die Drehung des doppelt brechenden Körpers einen Quadranten durchlief [1]. Hieran knüpfte sich nun die erste von Malus gemachte wichtige Entdeckung, die als Grundlage aller neuern Untersuchungen über das polarisirte Licht anzusehn ist.

6. Wenn man den Sonnenstrahl oder das Licht einer Flamme oder das Licht weiſser Wolken auf eine unbelegte Glasplatte fallen läſst und dabei den Winkel des Strahls mit der Glasplatte so wählt, daſs er ungefähr 34° beträgt oder der Einfallswinkel = 56° ist, so wird dieser Strahl, wie immer, unter demselben Winkel zurückgeworfen, und man bemerkt nichts, wodurch sich hier der Erfolg von dem Erfolge in jedem andern Falle unterschiede. Läſst man diesen reflectirten Strahl auf eine zweite unbelegte Glasplatte fallen, die mit jener parallel ist, so wird er auch von dieser zurückgeworfen und zeigt nichts merkwürdiges; aber wenn man die zweite Glasplatte so um den Strahl bewegt, daſs dieser stets einen Winkel von 34° mit ihrer Fläche bildet, so nimmt die Intensität des zurückgeworfenen Strahls ab, und dieser verschwindet völlig, wenn man die Glasplatte ein Viertel eines Umlaufs hat zurücklegen lassen; setzt man die Bewegung weiter fort, so fängt der Strahl wieder an zurückgeworfen zu werden, und wird vollkommen gut zurückgeworfen, wenn die Bewegung der Glasplatte um den schon einmal unter dem bestimmten Winkel reflectirten Strahl einen halben Umlauf vollendet

1 Herschel vom Lichte. §. 822.

hat. Eben diese Erscheinungen erneuern sich, wenn man die Glasplatte die andere Hälfte des Umlaufs zurücklegen läſst.

In allen diesen Fällen bleibt das Gesetz, daſs der Zurückwerfungswinkel dem Einfallswinkel gleich ist und daſs der einfallende und der zurückgeworfene Strahl mit dem Einfallslothe in einer Ebene liegt, ungeändert; die Intensität des reflectirten Strahls ist es allein, welche bei der zweiten Zurückwerfung Aenderungen leidet.

7. Dieser Versuch läſst sich, wenn man den mit dem Einfallslothe gebildeten Einfallswinkel von 56° den *Polarisationswinkel für Glas* nennt, unter folgenden allgemeinen Ausdruck bringen. Wenn ein Strahl gewöhnlichen Lichts unter dem Polarisationswinkel auf eine unbelegte Glastafel fällt, so wird der von ihr reflectirte Lichtstrahl von einer unter demselben Winkel gegen ihn geneigten Glastafel zwar vollkommen gut zurückgeworfen, wenn die zweite Reflexions-Ebene (die Ebene, in welcher der einfallende und der reflectirte Strahl sich befinden) mit der ersten zusammenfällt; aber die Zurückwerfung an der zweiten Tafel hört völlig auf, wenn die zweite Reflexions-Ebene senkrecht gegen die erste ist, und die Intensität des reflectirten Strahls nimmt überhaupt ab, je mehr die Ebene der zweiten Reflexion von der Ebene der ersten Reflexion abweicht[1].

8. Um dieses ohne künstliche Apparate zu zeigen, bedarf man nur zweier Glasplatten, die man am besten an der hintern Seite mit Tusche schwärzt, damit man durch die hinter dem Glase liegenden Gegenstände nicht gehindert werde. Man schneidet dann ein Dreieck BAC so, daſs der Winkel Fig. 83.
A = 34° ist, legt dieses horizontal und stellt bei A die eine Glasplatte cd vertical auf. Bei B hält man das Auge in eben der Höhe wie die Mitte der Glasplatte und läſst in D in gleicher Höhe eine Lichtflamme so aufstellen, daſs das Auge B das Bild der Flamme in der Glasplatte A gespiegelt sieht; dann ist die erste Reflexions-Ebene horizontal, nämlich DAB. Während nun Flamme und Glasplatte ihre Stellung behalten, bringt man in B die zweite Glasplatte so an, daſs ihre horizontale Seite auf AB senkrecht ist, und neigt sie gegen den Horizont; stellt man

1 Diese Versuche wurden von Malus im J. 1808 bekannt gemacht. G. XXXI. 274.

dann das Auge so, daſs man die Flamme durch zweimalige Spiegelung sieht oder daſs der vom ersten Spiegel A kommende Strahl abermals in B zurückgeworfen das Auge erreicht, so bemerkt man, daſs das Bild der Flamme fort und fort schwächer wird, wenn man die Platte B immer mehr von der verticalen Lage entfernt, und wenn der Strahl AB 34° mit ihr macht, so verschwindet das Bild der Flamme beinahe gänzlich, tritt aber wieder merklicher hervor, wenn der Winkel des Strahls mit der Platte gröſser oder kleiner wird. Es erhellt leicht, daſs bei dieser Stellung der zweiten Glasplatte, wenn man ab senkrecht auf AB bleiben läſst und die Platte um ab dreht, die zweite Zurückwerfung in einer verticalen Ebene statt findet, also die beiden Reflexions-Ebenen auf einander senkrecht stehn, und es ist daher den vorigen Angaben gemäſs, daſs, wenn der Polarisationswinkel als Einfallswinkel für beide Strahlen gewählt ist, der Strahl sich der zweiten Zurückwerfung entziehn muſs. Wählt man die Stellung des zweiten Spiegels anders, indem man ab nicht mehr senkrecht auf AB nimmt, so findet die starke Verdunkelung des Bildes bei keiner Neigung mehr so vollkommen statt.

9. Eine für zahlreiche Versuche sehr angemessene einfache Vorrichtung zu diesen Versuchen hat Biot angegeben [1]. Auf Fig. 84. einem Fuſse ist, so daſs man eine Drehung in horizontaler und verticaler Richtung bewirken kann, die Röhre CE aufgestellt, oder statt einer cylindrischen Röhre sind auch nur die Ringe C und E parallel mit einander verbunden. Vor der einen Oeffnung C befindet sich eine an der Hinterseite geschwärzte Glasplatte, oder statt dieser noch besser eine geschliffene Obsidianplatte J, welche jede willkürliche Neigung gegen die Axe der Röhre erhalten kann. Die Gröſse dieser Neigung lieſt man an dem Gradbogen GH ab. Dieser Platte giebt man die dem Polarisationswinkel entsprechende Neigung von 34° gegen die Axe

1 Die hier beschriebene Maschine ist in einzelnen Theilen verschiedentlich abgeändert, z. B. in München insofern, als sich in dem vertical stehenden Rohre oben ein drehbarer Ring mit einem Prisma von isländischem Doppelspath befindet. Arago hat ihr eine Einrichtung gegeben, vermöge deren die polarisirten Strahlen auf einen transparenten Schirm fallen, um von mehreren Personen gleichzeitig aus der Ferne gesehn zu werden. Es würde zu weit führen, alle diese Einrichtungen einzeln zu beschreiben.

Digitized by Google

der Röhre und läſst einen Lichtstrahl so auffallen, daſs der reflectirte Strahl mit der Axe der Röhre zusammenfällt. Bei E ist ein Ring, der sich um die Axe der Röhre drehn läſst, angebracht und mit diesem ist die zweite Spiegelfläche L verbunden, der man zu dem Hauptversuche wieder die, mit Hülfe des Gradbogens MN zu bestimmende, Neigung von 34° gegen die Axe der Röhre giebt. An dem Ringe E befindet sich eine Gradtheilung, die 0° zeigt, wenn der so geneigte Spiegel L dem Spiegel J parallel ist, und an welcher man, wenn der Ring E mit dem Spiegel L gedreht wird, den Winkel abliest, den die beiden Reflexions-Ebenen (die Ebenen der Zurückwerfung am ersten und am zweiten Spiegel) mit einander machen. Stellt man nun das Auge so, daſs es den vom ersten Spiegel auf den zweiten geworfenen Strahl nach der zweiten Zurückwerfung empfängt, so kann man, während der Ring E um die Axe der Röhre CE gedrehet wird, die Veränderungen in der Intensität des Strahls beobachten, welche von der Neigung der beiden Reflexions-Ebenen gegen einander abhängen. Steht nämlich der Index des Ringes auf Null, während die Spiegel beide unter dem Polarisationswinkel geneigt sind, oder ist die Ebene des zweiten Spiegels der Ebene des ersten parallel, so hat der nach zweimaliger Zurückwerfung aus dem zweiten Spiegel hervorgehende Strahl ganz die Stärke, die wir unter diesen Umständen erwarten; dreht man den Ring, so nimmt die Intensität des Strahls ab, und wird fast völlig = 0, wenn der Ring bis 90° gedreht ist. Geht man weiter fort, so wird der zurückgeworfene Strahl wieder stärker, erlangt bei 180° dieselbe Stärke, die er bei 0° hatte, und durchläuft, wenn man die Drehung durch die zweite Hälfte des Kreises fortsetzt, dieselben Aenderungen, welche man von 0 bis 180° beobachtet hatte.

Am besten stellt man diesen Versuch so an, daſs man das Licht weiſser Wolken oder des weiſs bedeckten Himmels auf die Platte J auffallen läſst und den vom Spiegel L reflectirten Lichtstrahl beobachtet. Das Bild des Himmels erscheint im zweiten Spiegel hell und weiſs, wenn der Index des Ringes auf 0° und 180° steht, aber völlig verfinstert, beinahe durchaus schwarz, wenn der Ring auf 90° oder 270° steht. Diese Erscheinungen treten nur dann vollkommen ein, wenn beide Spiegel unter dem Polarisationswinkel geneigt sind, weichen sie davon ab, so ändert sich zwar bei der Drehung des Ringes die

Intenſität des zweimal reflectirten Strahls, aber er verſchwindet nicht ſo beinahe gänzlich, wie bei der Stellung auf den Polariſationswinkel.

10. Nicht bloſs Glas iſt geeignet, als zurückwerfender Spiegel dieſe Erſcheinungen hervorzubringen, ſondern auch andre ſpiegelnde Körper, als Waſſer, Oele, polirtes Holz u. ſ. w., können dazu angewandt werden, nur Metalle und eben deshalb auch mit Metallbelegung verſehene Gläſer ſchicken ſich nicht dazu. Bei jedem Körper iſt der Winkel der vollkommenſten Polariſirung, den ich für Glas zu 56 Grad mit dem Einfallslothe angegeben habe, ein anderer; aber der unter dem richtigen Winkel bei 1 vom Waſſer oder Oele reflectirte Strahl hat genau dieſelben Eigenſchaften erlangt, und wenn der zweite Spiegel ein Glasſpiegel iſt, ſo muſs für ihn immer dieſelbe Stellung auf den dem Glaſe angemeſſenen Polariſationswinkel ſtatt finden, es mag der polariſirte Strahl, der vom erſten Spiegel herkommt, von welcher Subſtanz man will (wenn ſie nicht, wie die Metalle, ungeeignet zur Polariſirung des Strahls iſt) reflectirt ſeyn.

11. Wenn man den zweiten Spiegel an der Hinterſeite ungeſchwärzt läſst, um die durchgehenden Strahlen zu beobachten, ſo findet man zwar, daſs bei jeder Stellung dieſes Spiegels ein groſser Theil des Strahls, welcher polariſirt auffiel, durchgelaſſen wird, aber die Menge des durchgelaſſenen Lichts nimmt zu, wenn der reflectirte Strahl ſchwächer wird, und iſt dann am gröſsten, wenn gar kein Theil des polariſirten Strahls zurückgeworfen wird. Eine genauere Unterſuchung des durchgelaſſenen Lichts zeigt, daſs dieſes aus polariſirtem Lichte beſteht, welches aber in einer andern Ebene, als der reflectirte Strahl, polariſirt iſt.

12. Malus gab ſich vergeblich Mühe, den für verſchiedene Subſtanzen ſtatt findenden Polariſationswinkel unter eine Regel zu bringen [1]; Brewster hat, nachdem auch ihn die Unregelmäſsigkeit beim Glaſe zuerſt gehindert hatte, ein höchſt einfaches Geſetz dafür entdeckt [2], deſſen Richtigkeit er bei achtzehn Körpern nachwies. Wenn ein Lichtſtrahl AB auf einen
Fig. 85. durchſichtigen Körper fällt, ſo geht ein Theil deſſelben gebro-

1 G. XXXVIII. 245.

2 Phil. Tr. 1815. 126.

chen nach C und ein anderer Theil wird nach D zurückgeworfen; dieſe beiden Strahlen BC, BD machen einen Winkel von 180°, wenn AB ſenkrecht auffällt, und bei zunehmendem Einfallswinkel PBA nimmt DBC ab; es giebt einen ganz beſtimmten Werth des Winkels PBA, für welchen DBC = 90° iſt, und dieſer Werth von PBA *iſt der Winkel der vollkommenſten Polariſation.* Nennt man den Winkel ABP = α, ſo iſt Cos. FBC = μ. Sin. α, wenn μ das Brechungsverhältniſs iſt, und wenn DBC = 90° ſeyn ſoll, ſo muſs folglich Cos. $\alpha = \mu$. Sin. α ſeyn oder die Tangente des Winkels α gleich dem Bruche, welcher das Brechungsverhältniſs bei dem Uebergange aus dem dichtern Körper $= \frac{1}{\mu}$ ausdrückt. Nennt man alſo denjenigen Winkel, den der Strahl mit dem Einfallslothe machen muſs, damit die vollkommenſte Polariſirung ſtatt finde, den Polariſationswinkel, ſo iſt ſeine Tangente $= \frac{1}{\mu}$. Dieſes Geſetz zeigt ſich als richtig nicht allein wenn der Strahl aus Luft in einen andern Körper, ſondern auch wenn er aus dieſem wieder in die Luft übergeht. Hieraus erklärt ſich dann auch der Umſtand von ſelbſt, den Malus durch ſorgfältige Verſuche beſtätigte, daſs auch, wenn die Rückſeite GH mit FE parallel iſt, der an GH reflectirte Strahl bei demſelben Einfallswinkel ebenſo und ebenſo vollkommen wie BD polariſirt iſt. Es iſt nämlich bekannt, daſs, wenn GH parallel mit FE iſt, der hervorgehende Strahl CK parallel mit AB iſt, alſo GCK = 90° — α; aber LCG = BCH = FBC iſt in unſerm Falle = α; war alſo der Strahl BC noch, auf ähnliche Art wie AB, der Polariſation fähig, ſo wird auch der Strahl CL ebenſo wie BD polariſirt ſeyn, und er behält, auch indem er nach LM fortgeht, dieſe Polariſirung. Auch wenn der Lichtſtrahl aus irgend einem andern brechenden Körper in einen zweiten übergeht, gilt eben dieſes Geſetz, daſs der hervorgehende und der zurückgeworfene Strahl um 90° gegen einander geneigt ſeyn müſſen, um die Polariſation zu bewirken. Wenn dieſes nicht ſtatt finden kann, ſo tritt auch keine vollkommene Polariſation ein, z. B. wenn ABCD eine mit parallelen Oberflächen begrenzte Waſſerſchicht iſt, die in CD auf Glas liegt, wie es bei Brewster's Verſuchen der Fall war [1]. Hier war Fig. 86.

1 Phil. Tr. 1815. 140.

Digitized by Google

für das Glas das Brechungsverhältniſs $= 0{,}656$, also für den Uebergang von Wasser in Glas $= 0{,}8747$, der Strahl hätte also den Winkel $FGD = 41° \, 11'$ machen müssen, um vollkommen polarisirt zu seyn; aber da selbst für $PFE = 90°$ $FGD = 41° 25'$ ist, so konnte der Strahl zwar der vollkommenen Polarisation immer näher kommen, je näher $PFE = 90°$ wurde, aber sie nicht erreichen, wie auch die Versuche ergaben.

13. Die genaue Bestimmung des Polarisationswinkels kann also, bei einfarbigem Lichte wenigstens, dazu dienen, um das Brechungsverhältniſs zu bestimmen. Malus fand für Glas den Polarisationswinkel, wenn man darunter den Neigungswinkel versteht, den der Strahl mit dem Einfallslothe machen muſs, um polarisirt zu werden, $= 54° \, 35'$; für das von ihm angewandte Glas müſste also $\mu = 0{,}711$ oder $\frac{1}{\mu} = 1{,}406$ seyn für die am meisten Licht gebenden Strahlen; indeſs ist diese Bestimmung nicht völlig genau, da gerade beim Glase Abweichungen von der Regel vorkommen. Setzt man für Tafelglas $\frac{1}{\mu} = 1{,}50$ bis $1{,}52$, so muſs der Polarisationswinkel $56° \, 20'$ bis $56° \, 40'$ seyn; für Flintglas giebt der Werth $\frac{1}{\mu} = 1{,}57$ bis $1{,}64$ den Polarisationswinkel $= 57° \, 30'$ bis $58° \, 38'$; für Wasser giebt $\frac{1}{\mu} = 1{,}336$ den Polarisationswinkel $= 53° \, 11'$ (statt daſs Malus $52° \, 45'$ fand, aber Biot's Versuche gaben ihn richtiger $= 53° \, 4\frac{1}{2}'$). Für Luft hatte Arago den Polarisationswinkel 45 bis 47 Grad gefunden, nach der Theorie sollte er $45° \, 0' \, 32''$ seyn. Für Diamant, wo $\frac{1}{\mu} = 2{,}477$, ist der Winkel der vollkommensten Polarisation $68° \, 1'$.

August Seebeck hat dieses Gesetz einer neuen Prüfung unterworfen und es so genau richtig gefunden, daſs die Abweichung des beobachteten Polarisationswinkels von dem berechneten selten über einige Minuten hinaus ging. Aber die Ungleichheiten, die Brewster beim Glase bemerkt hatte, fand auch er. Brewter schrieb die groſsen Abweichungen, welche sich bei verschiedenen Glasstücken finden, einer chemischen Veränderung der Oberfläche des Glases zu, wodurch die bloſs von der

Einwirkung der Oberfläche abhängende Polarisirung geändert werde, während die Brechung in der Glasmasse ungeändert bleibt. Er glaubte dieses dadurch bestätigt zu finden, daſs er an einem Stücke Flintglas durch bloſse Erwärmung den Polarisationswinkel um 9° veränderte. Seebeck hält indeſs dafür, daſs mehr die mechanische Behandlung Ursache dieser Ungleichheit sey, indem Gläser, die ganz frisch und mit besonderer Sorgfalt polirt waren, einen fast strenge mit dem Brechungsverhältnisse übereinstimmenden Polarisationswinkel hatten [1].

14. Da dieses Gesetz offenbar für jeden einzelnen Farbenstrahl statt finden wird, so kann nicht bei einem bestimmten Einfallswinkel alles weiſse Licht vollkommen polarisirt seyn, und dieses ist ein Grund, warum der polarisirte Strahl bei der zweiten Spiegelung nie ganz vollkommen verschwindet, sondern der weiſse Himmel auch bei den richtigsten Stellungen beider Spiegel nicht vollkommen schwarz, sondern nur blauschwarz oder in einem dem vollkommenen Schwarz sehr nahe kommenden Purpur erscheint. Indem man nämlich beide Spiegel auf den Winkel stellt, welcher der vollkommensten Polarisation der lichtvollsten Strahlen entspricht, entgehn die Strahlen, die gegen das Ende des prismatiſchen Farbenbildes liegen, der vollkommenen Polarisirung, und ein Theil von ihnen wird daher noch zurückgeworfen. Für Flintglas, dessen Brechungsverhältniſs Fraunhofer $\frac{1}{\mu} = 1{,}628$ für rothe, 1,671 für violette Strahlen, die beide ziemlich nahe den Gränzen des Spectrums lagen, angiebt, würden 58° 27′ und 59° 6′ die Polarisationswinkel seyn; für die lichtvollsten Strahlen würde also ungefähr 58° 40′ der richtige Polarisationswinkel seyn, und wenn man beide Spiegel auf 58° 27′ stellte, so würden die gelben, grünen, blauen Strahlen im unpolarisirten Lichte vorwalten und das im zweiten Spiegel noch zurückgeworſene Licht der Wolken grünlich oder grünlich-blau seyn, dagegen würden die Wolken sich zum Roth hinneigend zeigen, wenn man die Spiegel auf 59° gestellt hätte. Arago sowohl als auch Brewster hat diesen Erfolg bemerkt, der bei Körpern, welche das Licht stark zerstreuen, am auffallendsten ist;

1 Poggend. XX. 39. Vorrichtungen, um den Polarisationswinkel für verschiedene Substanzen zu finden, giebt Biot an. Traité T. IV. p. 285.

Digitized by Google

dagegen fand Brewster *homogenes* Licht selbst beim Diamant unter dem richtigen Winkel vollkommen polarisirt [1]. Die ersteren Versuche hat auch Herschel wiederholt und man kann sich selbst leicht von ihrer Richtigkeit überzeugen.

Die Menge des bei dem Winkel der vollkommensten Polarisirung unpolarisirt bleibenden Lichtes ist gröſser bei Körpern, welche das Licht stark brechen und stark zerstreuen. Die starke Farbenzerstreuung verursacht nämlich, daſs eine verhältniſsmäſsig kleine Menge von Licht aus der Mitte der Farbenreihe bei der zweiten Reflexion völlig der Zurückwerfung entzogen wird, wogegen die, so bedeutend andere Polarisationswinkel fordernden, blauen und rothen Strahlen in erheblicher Menge zurückgeworfen werden. Dieses beträgt am meisten bei Substanzen, bei denen die Brechung stark ist, weil da der Polarisationswinkel groſs ist und der einen kleinern Winkel mit der Oberfläche machende Strahl eine gröſsere Menge reflectirten Lichts giebt. Die Erfahrung zeigt auch, wie Brewster bemerkt, daſs bei dem Diamant und andern das Licht stark brechenden Körpern der zweite Spiegel, selbst bei der richtigsten Stellung beider, stets noch viele Lichtstrahlen zurückwirſt, wenn das auffallende Licht weiſses Licht war.

15. Auſser diesem *einen* Grunde, warum der polarisirte Strahl bei der zweiten Zurückwerfung unter dem richtigen Winkel nicht ganz und gar verschwindet, kommt noch ein zweiter in Betrachtung, daſs nämlich von jeder spiegelnden Oberfläche doch einige als zerstreutes Licht zurückgeworfene Lichtstrahlen ausgehn und daſs diese unpolarisirt bleiben, also auch am zweiten Spiegel sich der Zurückstrahlung nicht entziehn. Aus diesem Grunde erscheinen Körper, die polirt sind, aber doch viel zerstreutes Licht zurückwerfen, unter dem gehörigen Winkel angewandt, zwar als ihres Spiegelglanzes beraubt [2], aber doch als hell in der ihnen eigenthümlichen Farbe, und es ist dieses ein bequemes Mittel, um die Farbe eines Körpers ungemischt und befreit von dem weiſsen Lichte zu erhalten, das sich sonst durch bloſse Spiegelung beimischt [3].

---

1 Phil. Tr. 1815. 131. 156. Biot Traité T. IV. p. 292. Airy glaubt, dieses sey nicht völlig der Fall. Philos. Magaz. January 1833. p. 29.

2 Geglättetes Papier ungefähr für den Einfallswinkel = 58°.

3 Biot Traité u. s. w. T. IV. p. 339.

Digitized by Google

Etwas Aehnliches bemerkt man an den Metallen, welche, wenn sie auch als Spiegel polirt sind, doch unter keinem Winkel den Lichtstrahl ganz polarisiren, obgleich bei einer Stellung unter bestimmtem Winkel der zurückgeworfene Strahl sich als am wenigsten zur Zurückwerfung vom zweiten Spiegel geeignet oder als am besten polarisirt zeigt. Dieser Winkel, den man also den Winkel möglichst vollkommener Polarisation nennen kann, ist für Stahl = 71° oder nach Brewster = 75°, für Quecksilber = 76½ Grad, so daſs man für Stahl $\frac{1}{\mu} = 2{,}9$ oder nach Brewster = 3,73, für Quecksilber $\frac{1}{\mu} = 4{,}17$ oder, was Herschel für noch richtiger hält, = 5,0 annehmen müſste. Beim Selen ſand Marx[1] den Polarisationswinkel = 67° 15′.

16. Wenn der Lichtstrahl auf beide zurückwerfende Ebenen unter dem Polarisationswinkel auffällt, so läſst sich die Intensität des Lichtstrahls, welcher bei verschiedener Neigung der Reflexions-Ebenen gegen einander nach der zweiten Spiegelung hervorgeht, durch

$$I = A\ \mathrm{Cos.}^2\gamma$$

ausdrücken, wenn γ der Winkel ist, den die beiden Reflexions-Ebenen mit einander machen. Diese Formel entspricht erstlich den wichtigsten bisher betrachteten Erscheinungen. Ist nämlich die zweite Reflexions-Ebene mit der ersten einerlei (welches bei unserm Instrumente statt findet, sowohl wenn beide Glas-Ebenen mit einander parallel sind und der zweite Spiegel in der Drehung um die Axe der Röhre auf 0° steht, als auch, wenn dieser einen halben Umlauf gemacht hat und auf 180° steht), so ist $\gamma = 0$ oder $= 180°$ und die Intensität = A; dagegen für $\gamma = 90°$ oder $= 270°$, wenn beide Reflexions-Ebenen auf einander senkrecht stehn, ist die Intensität gleich Null, der zurückgeworfene Strahl verschwindet ganz. Was zweitens andere Werthe von γ betrifft, so ist es allerdings schwer, die Intensität durch Versuche ganz genau abzuschätzen, aber die Formel entspricht auch da so gut, daſs wir allen Grund haben, sie für richtig zu halten.

Nennen wir im Allgemeinen einen Strahl *in einer bestimmten Ebene polarisirt,* wenn er unfähig ist, in einer Zurückwer-

1 Schweigg. Jahrb. XXXI. 16.

fungs-Ebene, die senkrecht gegen jene Ebene ist, bei einem dem Polarisationswinkel gleichen Einfallswinkel, reflectirt zu werden, so ist jene Regel allgemein, wenn y der Winkel zwischen der Polarisations-Ebene des Strahles und der Zurückwerfungs-Ebene ist, und wir haben nicht mehr nöthig, den polarisirten Strahl gerade als durch eine Zurückwerfung polarisirt anzusehn, sondern jeder in eben der bestimmten Ebene polarisirte Strahl befolgt bei der Zurückwerfung, wenn der Einfallswinkel gleich dem Polarisationswinkel ist, dasselbe Gesetz.

17. Malus und Biot haben gesucht, den Grund, warum der in einer gewissen Ebene polarisirte Strahl in der gegen diese senkrechten Ebene unter dem Polarisationswinkel keine Zurückwerfung leide, durch eine Hypothese über die Gestalt und Lage der Lichttheilchen zu erklären. Sie nehmen nämlich an, die Lichttheilchen haben eine Axe, von deren Lage die Fähigkeit zurückgeworfen zu werden abhängt. Diese Axe hat bei den in einem unpolarisirten Lichtstrahle zu uns kommenden Lichttheilchen mannigfaltig verschiedene Lagen und eben darum zeigt sich der Lichtstrahl als nicht polarisirt. Fällt aber ein solcher Lichtstrahl unter dem Polarisationswinkel auf eine Spiegelfläche, so erlangen die zurückgeworfenen Lichttheilchen eine solche Lage, daſs jene Axe sich in der Zurückwerfungs-Ebene und senkrecht auf die Richtung des Strahls befindet, und nur die Theilchen, die diese Lage erlangen können, sind der Zurückwerfung unter dem Polarisationswinkel fähig. Dieser Strahl ist also ein in der Reflexions-Ebene polarisirter Strahl, und jeder Strahl, in welchem die Axen der Lichttheilchen diese Lage haben, ist in eben der Ebene polarisirt, wenn diese Uebereinstimmung der Axen auch durch andere Umstände hervorgebracht ist. Trifft nun dieser Strahl unter dem Polarisationswinkel auf eine Spiegel-Ebene, und zwar so, daſs die Reflexions-Ebene senkrecht auf die Polarisations-Ebene ist, so wird er nicht zurückgeworfen, weil die Lichttheilchen die (nach der Hypothese) nothwendige Bedingung der Reflexion unter diesem Winkel nicht erfüllen können. Denn da die Axen dieser Theilchen senkrecht gegen die Reflexions-Ebene sind, so können sie durch die absto-ſsenden Kräfte der Zurückwerfung, welche auf beide Enden der Axe gleich wirken, nicht in die Reflexions-Ebene, also nicht in die der Zurückwerfung entsprechende Lage gebracht werden, und deswegen entziehn sie sich gänzlich der

Zurückwerfung [1]. Wenn die Reflexions-Ebene sich ein wenig von der angegebenen Lage entfernt, so werden einige, aber nur wenige, Theilchen zurückgeworfen. Um dieses zu erklären, nimmt Biot an, daſs zwar im polarisirten Strahle alle Axen der Lichttheilchen, ihrer Hauptlage nach, parallel sind, aber daſs durch Oscillationen um diese Axen die Anwandelungen leichterer Zurückwerfung und leichteren Durchganges entstehn, weshalb denn bei nicht völlig senkrechter Lage der Axe gegen die Reflexions-Ebene diejenigen Lichttheilchen zurückgeworfen werden, die sich in der Phase der leichtesten Zurückwerfung befinden. Es läſst sich wohl nicht leugnen, daſs diese Verbindung mehrerer Voraussetzungen schon hier vieles gegen sich hat, und deshalb hat auch Biot's Hypothese nicht den Beifall behalten, den man ihr anfangs schenkte. Um diese mit groſsem Scharfsinne ausgedachte und zahlreichen Erscheinungen angepaſste Theorie richtig zu beurtheilen, muſs man sich erinnern, daſs sie zu einer Zeit aufgestellt wurde, wo die für die *Undulationstheorie* sprechenden Erscheinungen noch nicht so genau bekannt waren und wo — was das Wichtigste ist — es unmöglich schien, nach der Undulationstheorie Erscheinungen zu erklären, die offenbar forderten, daſs man dem Lichtstrahle ungleiche Eigenschaften an seinen verschiedenen Seiten beilege. Aber da die frühere Undulationstheorie das Licht als ganz dem Schalle analog ansah und die Vibrationen als in der Richtung des Strahls geschehend voraussetzte, so muſsten die Polarisations-Erscheinungen fast nothwendig als der Undulationstheorie geradezu widersprechend angesehn werden. Erst als Fresnel in den Interferenz-Erscheinungen polarisirter Strahlen Grund fand, eine völlig neue Undulationstheorie aufzustellen, konnte es gelingen und ist auf ausgezeichnete Weise gelungen, alle Erscheinungen der Polarisation durch diese Theorie zu erklären.

Fresnel fand sich nämlich veranlaſst, den Vibrationen des Licht-Aethers eine ganz andere Beschaffenheit beizulegen, als man bis dahin angenommen hatte. Nach seiner Ansicht erfolgen die Vibrationen nicht in der Richtung des Strahls, sondern sie sind Quervibrationen, deren Richtung in allen Fällen senkrecht auf die Richtung des Strahls ist. In dem gewöhn-

1 Biot Traité T. IV. p. 278. 283.

Digitized by Google

lichen Lichte haben diese Vibrationen in schnellem und regelmäſsigem Wechsel alle möglichen gegen die Richtung des Strahls senkrechten Richtungen, und dann zeichnet sich also keine Seite des Strahls von der andern aus, das Licht ist nicht polarisirt. Aber unter manchen Umständen zerlegen sich jene Vibrationen nach zwei auf einander senkrechten Richtungen, und in einem so veränderten Strahle sind in zahlreichen Fällen *alle* jene Quervibrationen ganz auf *eine* Richtung zurückgeführt, dann ist das Licht vollständig polarisirt. Die Frage, ob im polarisirten Strahle die Vibrationen in der Ebene, welche wir die Polarisations-Ebene nennen, oder senkrecht gegen diese Ebene statt finden, entscheidet sich aus später vorkommenden (nr. 27.) Gründen dahin, daſs die Vibrationen gegen die Richtung der Polarisations-Ebenen senkrecht sind. Diese Vibrationen folgen sich nun in den bestimmten Zwischenräumen, die wir eine Wellenlänge oder Undulationslänge nennen, und wenn zwei polarisirte Strahlen nach gleicher Richtung fortgehn, so können sie theils in Rücksicht auf die Richtung der Vibrationen verschieden seyn, theils in Rücksicht auf das Zusammentreffen der Vibrationen entweder gleich seyn, oder um Theile einer Undulation einander voreilen. Die Frage, was in diesen verschiedenen Fällen aus der Vereinigung zweier Strahlen hervorgeht, muſs bei den verschiedenen Erscheinungen, welche die Polarisation darbietet, erklärt werden.

Die Zerlegung der Vibrationen, wenn sie auf eine andere Ebene zurückgeführt werden, oder wenn aus einer Vibration nach bestimmter Richtung zwei Vibrationen in gegen einander senkrechten Richtungen entstehn, geschieht ganz nach den Gesetzen der Statik. Wenn ein Strahl unter dem Polarisationswinkel auf eine Spiegelfläche fällt und nun in der Reflexions-Ebene polarisirt hervorgeht, so ist die Geschwindigkeit $=1$ seiner Vibration auf die Geschwindigkeit $=$ Cos. γ zurückgeführt, wenn γ der Winkel ist, den die Vibrationen des ankommenden Strahls mit den Vibrationen des zurückgeworfenen machen; war also jener Strahl schon polarisirt in einer unter dem Winkel $=\gamma$ gegen die Zurückwerfungs-Ebene geneigten Ebene, so ist in jedem Augenblicke das Verhältniſs der Vibrationsgeschwindigkeit $=$ Cos. γ und die Intensität des Strahls $=$ Cos.^{2} γ, so daſs die aus Erfahrung abgeleitete Regel (nr. 16.) hier mit einem theoretischen Grunde in Verbindung erscheint.

Digitized by Google

18. Wir haben bisher nur von den Zurückwerfungen des Lichts geredet, die unter einem dem Polarisationswinkel gleichen Einfallswinkel statt finden, und obenhin bemerkt, daſs auch bei rechtwinkliger Stellung der Reflexions-Ebenen gegen einander die Zurückwerfung der Strahlen im zweiten Spiegel nicht ganz aufhört, wenn eine der beiden Spiegelflächen nicht unter dem Polarisationswinkel geneigt ist. Wenn der unpolarisirte Lichtstrahl auf die erste Spiegelfläche, von welcher sich allezeit versteht, daſs sie zur Polarisation geeignet sey, unter einem andern als dem Polarisationswinkel auffällt, so entzieht ein Theil des Lichts sich der Zurückwerfung an einer zweiten unter dem Polarisationswinkel ihm entgegengestellten spiegelnden Fläche, wenn die Zurückwerfungs-Ebene senkrecht gegen die erste Zurückwerfungs-Ebene ist; aber ein Theil des Strahls wird von dieser zweiten Fläche völlig so zurückgeworfen, als wenn er aus gewöhnlichem Lichte bestände, er wird nämlich, wenn der zweite Spiegel unter dem Polarisationswinkel geneigt ist, völlig und so polarisirt, als ob er hier seine erste Reflexion erlitte. Dieser von der ersten Fläche zurückgeworfene Strahl wird daher gewöhnlich angesehn, als ob er in diesem Falle aus einem in der Reflexions-Ebene polarisirten und aus einem völlig unveränderten Antheile bestände. Brewster macht aber die sehr richtige Bemerkung, daſs der ganze Strahl eine physische Veränderung müsse erlitten haben, weil er unter andern Umständen als der gewöhnliche Lichtstrahl völlig polarisirt werde.

19. Wird ein Lichtstrahl bei der Zurückwerfung völlig polarisirt, welches bei Brewster's Versuchen mit einer Glasfläche unter dem Polarisationswinkel = 56° 45′ geschah, so behält er die Polarisation in derselben Ebene, wenn er nun auch mehrere Zurückwerfungen erleidet, wofern nur alle diese Zurückwerfungen in derselben Reflexions-Ebene geschehn. Ward der gewöhnliche Lichtstrahl von demselben Glase unter 62° 30′ oder 50° 26′ Einfallswinkel zurückgeworfen und dann von einer zweiten gleichen Oberfläche unter demselben Winkel und in derselben Reflexions-Ebene zurückgeworfen, so war er völlig polarisirt; der vorhin unpolarisirt gebliebene Antheil muſste also eine solche Modification erlitten haben, daſs er jetzt, unter einem dieser beiden Winkel reflectirt, völlig polarisirt wurde, statt daſs ein ganz unpolarisirter Strahl nur unter dem Winkel

Digitized by Google

von 56° 45′ zurückgeworfen völlig polarisirt worden wäre. Ebenso fand Brewster, wenn alle Zurückwerfungen in derselben Ebene geschahen, daſs die dreimalige Zurückwerfung unter 65° 33′ oder unter 46° 30′, die viermalige Zurückwerfung unter 67° 33′ oder unter 43° 51′ die völlige Polarisation bewirkte. Es gab in allen Fällen einen Winkel gröſser als der Polarisationswinkel und einen Winkel kleiner als der Polarisationswinkel, bei welchem nach einer gewissen Anzahl von Zurückwerfungen die völlige Polarisirung eintrat[1]. Ich werde auf diesen Gegenstand noch wieder zurückkommen müssen[2].

II. Polarisirung durch gewöhnliche Brechung.

20. Wenn ein gewöhnlicher Lichtstrahl durch eine Glasplatte geht, so bleibt er nur in dem Falle, daſs er die Platte senkrecht trifft, ganz ungeändert; fällt er unter einem schiefen Winkel auf, so ist ein Theil des durchgegangenen Strahls polarisirt. Um diese Polarisirung vollständiger wahrzunehmen, ist es besser, mehrere Glasplatten parallel nahe hinter einander aufzustellen, indem der durchgegangene Strahl sich immer mehr von unpolarisirtem Lichte befreit zeigt, je mehr Platten er durchdringen muſste. Malus, Biot, Seebeck und Brewster haben diese Polarisirung, jeder unabhängig von dem andern, entdeckt[3]. Je stärker der einfallende Strahl gegen das Einfallsloth geneigt ist, desto weniger Glastafeln sind nöthig, um den Strahl völlig zu polarisiren, indeſs hängt die Vollkommenheit der Polarisirung auch von der Stärke des Lichts und der Beschaffenheit des das Licht durchlassenden Körpers ab, so daſs Biot zehn Glastafeln als zureichend angiebt, um das Licht der untergehenden Sonne völlig zu polarisiren, welches durch zwei Goldblättchen ebenfalls bewirkt werde. Bei stärkerem Lichte sind mehr Tafeln erforderlich. Brewster's Versuche zeigten, daſs acht Glastafeln für einen unter 78° 52′ einfallenden Lichtstrahl die vollkommene Polarisation bewirkten, daſs dagegen

---

1 Phil. Tr. 1815. 145.

2 S. nr. 35.

3 Biot Traité T. IV. p. 295. Schweigg. Journ. VII. 273. Phil. Tr. 1814. 219. G. XXXVIII. 241.

Digitized by Google

unter sonst gleichen Umständen 24 nöthig waren für 61° Einfallswinkel und 47 für 42° Neigung des Strahls gegen das Einfallsloth; seine Versuche führten ihn auf die Regel, daſs die Zahl der Platten der Tangente des Einfallswinkels umgekehrt proportional sey, und er knüpfte hieran weitere, über die Grenzen der Versuche hinausgehende Berechnungen, die man wohl nicht für streng zuverlässig ansehn kann. Man muſs nämlich überlegen, daſs die Versuche nicht eine absolut vollkommene Polarisation nachweisen, sondern nur ergeben können, daſs unter den bei diesen Versuchen statt findenden Umständen, wo die Flamme einer Wachskerze angewandt wurde, die Menge des noch unpolarisirten Lichtes unmerklich war.

21. Bei dem Durchgange durch mehrere parallele Platten ist der Fall am merkwürdigsten, wo der Einfallswinkel dem Polarisationswinkel gleich ist. Hier zeigt es sich nämlich am besten, daſs der durch eine hinreichende Anzahl paralleler Glastafeln gegangene Strahl vollkommen polarisirt ist, und zwar in einer Ebene polarisirt, die auf die Einfalls- oder Brechungs-Ebene senkrecht ist [1]. Man erkennt dieses daran, daſs der hervorgehende Strahl sich der Zurückwerfung von einer mit den vorigen Glasplatten parallelen Glasplatte völlig entzieht und eben deswegen ganz ungeschwächt durch sie und durch eine ganze Reihe paralleler Glasplatten durchgelassen wird. Es ist nämlich aus dem Vorigen bekannt, daſs die vollkommene Polarisirung sich dadurch zeigt, daſs ein polarisirter Strahl gar nicht zurückgeworfen wird, wenn die Zurückwerfung in einer gegen die Polarisations-Ebene senkrechten Ebene und unter dem Polarisationswinkel geschehn sollte; ist also die Polarisirung senkrecht gegen die Ebene PCA, so erleidet der Strahl DE keine Re- Fig.
flexion nach EF und wird ganz durchgelassen, wenn DE unter 87.
dem Polarisationswinkel auffällt. Die Erfahrung zeigt auch, daſs er durch mehrere parallele Tafeln durchgeht und gar nicht durch Zurückwerfung geschwächt wird, sondern allenfalls nur wegen der Trübheit des Glases eine höchst unbedeutende Schwächung erleidet.

Da bei diesem Durchgange durch parallele Glastafeln, wenn der Einfallswinkel dem Polarisationswinkel gleich ist, ein Theil des Lichts zurückgeworfen und dabei in der Einfalls-Ebene

---

1 Vergl. nr. 17.

polarisirt wird, dagegen ein Theil des Lichts durchgelassen und dabei in einer gegen die Einfalls-Ebene senkrechten Ebene polarisirt wird, so hat man diese beiden Polarisationen *entgegengesetzte Polarisationen* genannt. Dieser Name soll nur ausdrücken, daſs die eine Art polarisirter Strahlen ganz der Reflexion entzogen wird bei derselben Stellung der zurückwerfenden Ebene, wo von der andern Art polarisirter Strahlen gerade am meisten zurückgeworfen wird, und umgekehrt; wenn aber Arago's Behauptung richtig wäre, daſs in allen Fällen und bei allen Einfallswinkeln der beim Durchgange polarisirte Strahl ebensoviel Intensität besitzt, als der zugleich zurückgeworfene und in einer gegen die Polarisations-Ebene des erstern senkrechten Ebene polarisirte Strahl, so würde dieser Gegensatz noch eine mehrfache Wichtigkeit gewinnen[1].

22. Brewster hat dieser Meinung wichtige Gründe entgegengesetzt. Diese beiden Ansichten, die ich in der Folge genauer untersuchen will, unterscheiden sich dadurch, daſs die übrigen Physiker in dem durchgelassenen Lichtstrahle einen vollständig polarisirten und einen ganz unveränderten Theil, letztern also dem gewöhnlichen Lichte ganz ähnlich, annehmen; Brewster hingegen nimmt eine physische Veränderung des ganzen Strahls an, wodurch er im Durchgange durch eine, zwei und mehr Platten dem Zustande der vollkommenen Polarisation in einer Polarisations-Ebene, die gegen die Einfalls-Ebene senkrecht ist, immer näher kommt und endlich so nahe polarisirt ist, daſs wir keinen Unterschied zwischen ihm und einem vollkommen polarisirten Strahle mehr bemerken können. Indeſs sind alle darin einig, daſs nach dem Durchgange durch viele Glasplatten oder ähnliche Platten anderer durchsichtiger Körper die Polarisation in einer gegen die Einfalls-Ebene senkrechten Polarisations-Ebene vollkommen ist.

23. Läſst man einen so im Durchgange durch mehrere
Fig. 88. Gläser D polarisirten Strahl DE auf eine Verbindung anderer paralleler Gläser FG fallen, so wird, wenn der Einfallswinkel dem Polarisationswinkel gleich ist, eine Zurückwerfung anfangen, sobald die Reflexions-Ebene nicht mehr mit der Brechungs-Ebene für die ersten Gläser einerlei oder nicht mehr auf die Polarisations-Ebene des Strahls DE senkrecht ist, und

---

1 Vergl. nr. 47.

Digitized by Google

der Strahl wird am besten zurückgeworfen, wenn FG gegen den Strahl zwar unter dem Polarisationswinkel geneigt bleibt, aber in einer solchen Stellung, daſs die Reflexions-Ebene senkrecht gegen die Brechungs-Ebene ist oder übereinstimmt mit der Ebene, in welcher DE polarisirt war. Wäre in FG eine einzige solche Tafel auf die zuletzt angegebene Weise aufgestellt, so würde nur ein Theil des Strahls zurückgeworfen werden, der übrige Theil aber durchgelassen, ohne seine Polarisirung zu ändern, und beim Antreffen an eine zweite Tafel erlitte ein zweiter Theil die Zurückwerfung; so würde also der durch eine Reihe paralleler Tafeln FG gehende Strahl nach und nach immer mehr geschwächt und daher endlich einem bei O stehenden Auge nicht mehr kenntlich werden. Man kann daher, wenn man eine verbundene Menge paralleler durchsichtiger Tafeln so um den polarisirten Strahl dreht, daſs er immer unter dem Polarisationswinkel auffällt, den seltsam scheinenden Erfolg hervorbringen, daſs diese Tafeln als durchsichtig erscheinen, wenn die Einfalls-Ebene senkrecht gegen die Polarisations-Ebene des Strahls DE ist, und als undurchsichtig, wenn diese beiden zusammenfallen [1].

Da, wie Arago gefunden hat, ein gröſserer Antheil eines polarisirten Strahls als eines unpolarisirten zurückgeworfen wird, wenn die Reflexion unter dem Polarisationswinkel und in der mit der Polarisations-Ebene des schon polarisirten Strahls übereinstimmenden Ebene statt findet, so muss eine noch geringere Anzahl Platten in der zweiten Verbindung FG hinreichen, um den durchgelassenen Strahl unkenntlich zu machen, als in der ersten, um ihn vollständig zu polarisiren.

Brewster hat eben diese Polarisirung hervorgebracht, indem er in einem nur $\frac{1}{8}$ Zoll weitem Glasgefäſse mit parallelen Wänden Stückchen äuſserst fein geblasener Glaskugeln, Glimmerblättchen, Stückchen Goldschlägerhaut brachte und das Licht durchgehen lieſs.

24. In Beziehung auf Biot's Vorstellung von der Lage der Axen der Lichttheilchen würde man für diese Erscheinungen annehmen müssen, daſs bei dem Auffallen des gewöhnlichen Strahls unter dem Polarisationswinkel erstlich einige Lichttheilchen zurückgeworfen werden, und zwar alle mit ihren Axen in

1 Schweigger's Journ. VII. 278.

Digitized by Google

der Einfalls-Ebene und senkrecht auf die Richtung des Strahls, zweitens einige Lichttheilchen polarisirt durchgelassen werden, und zwar alle mit ihren Axen senkrecht gegen die Einfalls-Ebene und folglich zugleich auch senkrecht gegen die Richtung des Strahls, drittens einige Lichttheilchen unpolarisirt durchgelassen werden, also mit unregelmäſsig liegenden Axen der Lichttheilchen. Diese Ansicht muſs indeſs nach Brewster's Untersuchungen etwas anders aufgefaſst werden. Nach Fresnel's Ansicht erhellt leicht, daſs man bei der Zerlegung die Polarisation für den durchgelassenen Strahl erhalten wird.

III. Polarisirung beim Durchgange durch doppelt brechende Körper.

25. Wenn ein gewöhnlicher Lichtstrahl auf einen doppelt brechenden Körper, der nur *eine* Axe doppelter Brechung hat, fällt und dann, wie es in den meisten Fällen geschieht, eine Zerspaltung in zwei Strahlen erleidet, so zeigen sich diese Strahlen beide als polarisirt und zwar sind sie entgegengesetzt polarisirt, nämlich der gewöhnliche Strahl in einer durch die Axe des Krystalls gelegten, der andere in einer gegen diese senkrechten Ebene; das heiſst, wenn man von irgend einem Puncte des gewöhnlich gebrochenen Strahls eine Linie mit der Axe des Krystalls parallel zieht [1] und durch diese und den Strahl eine Ebene legt, so ist er in dieser Ebene polarisirt, und wenn man durch einen Punct des ungewöhnlich gebrochenen Strahls ebenso durch ihn und durch die Parallele zur Axe des Krystalls eine Ebene legt, so ist er senkrecht gegen diese Ebene polarisirt. Man überzeugt sich hiervon, wenn man diese Strahlen unter dem Polarisationswinkel auf eine unbelegte Glasplatte fallen läſst, indem da der gewöhnliche Strahl allein zurückgeworfen wird, wenn die Reflexions-Ebene mit der durch den Strahl und die Axe des Krystalls gelegten Ebene zusammenfällt, und der ungewöhnliche allein, wenn die Reflexions-Ebene senkrecht gegen die durch den Strahl und die Axe des Krystalls gelegte Ebene ist. Bedeckt man also die gegen das auffallende Licht gekehrte Seite des Krystalls mit einem undurchsichtigen Körper, welcher nur durch eine kleine Oeffnung einen Lichtstrahl zuläſst, und wird dann der Krystall so ge-

1 Vergl. im Art. *Brechung*. Bd. I. S. 1165.

Digitized by Google

halten, daſs die beiden hervorgehenden Strahlen $\alpha\alpha'$, $\beta\beta'$ auf das Glas CF unter dem Polarisationswinkel auffallen, so sieht Fig. ein Auge bei D nur *einen* zurückgeworfenen Strahl, wenn der 89. Krystall eine der beiden eben angegebenen Lagen hat; dagegen gehn beide Strahlen aus der Spiegelung hervor, wenn die Reflexions-Ebene mit keiner jener beiden Ebenen zusammenstimmt. Man kann diesen Versuch mit einem unzerschnittenen rhomboidischen Doppelspath-Krystalle, wo der senkrecht auffallende Strahl nach dem Durchgange in einen gewöhnlich gebrochenen, in der Ebene des Hauptschnitts polarisirten Strahl und in einen ungewöhnlich gebrochenen, gegen jene Ebene senkrecht polarisirten Strahl gespalten wird, anstellen. Ist hier der Winkel der Reflexions-Ebene mit der Ebene des Hauptschnitts $= \gamma$ und A die Intensität des einen der beiden gleichen Strahlen, so haben die reflectirten Strahlen die Intensitäten $= A \,\mathrm{Cos.}^2\gamma$ für den gewöhnlich gebrochenen und $= A \,\mathrm{Sin.}^2\gamma$ für den ungewöhnlich gebrochenen, so daſs man den letztern immer matter werden sieht, je kleiner γ wird.

26. Wenn ein polarisirter Strahl, er sey nun durch Zurückwerfung oder durch Brechung in einfach brechenden oder in doppelt brechenden Substanzen polarisirt, auf einen Doppelspath senkrecht auffällt, so wird er in zwei Fällen nicht in zwei Strahlen zerspalten, erstlich, wenn seine Polarisations-Ebene mit dem Hauptschnitte des Krystalls zusammenfällt, und zweitens, wenn die Polarisations-Ebene auf den Hauptschnitt senkrecht ist. In beiden Fällen behält der Strahl auch nach dem Durchgange durch den Krystall dieselbe Polarisation, wie vorher; beide Fälle unterscheiden sich aber dadurch, daſs im ersten Falle der Strahl gewöhnlich gebrochen (das heiſst, bei senkrechtem Einfallen, ungebrochen) durchgeht, wogegen er im zweiten Falle die ungewöhnliche Brechung erleidet. Hat der Hauptschnitt des Krystalls keine dieser beiden Lagen, sondern ist er um einen Winkel $= \gamma$ von der Polarisations-Ebene des Strahls abweichend, so gehn auch aus dem polarisirt auffallenden Strahle zwei Strahlen hervor; diese haben nun beide eine veränderte Polarisation angenommen und ihre Intensitäten werden durch $\mathrm{Cos.}^2\gamma$ und $\mathrm{Sin.}^2\gamma$ ausgedrückt. Man bringe in den aus dem Spiegel I polarisirt hervorgehenden Strahl, Fig. der in der Axe der Röhre fortgeht, einen Doppelspath, so daſs 84. der Strahl immer senkrecht auf seine Oberfläche fällt, drehe

aber den Doppelspath so, daſs der Hauptschnitt nach und nach andere Lagen erhält, so erblickt ein gerade durch den Doppelspath in den Spiegel I sehendes Auge in den zwei angegebenen Lagen nur *ein* Bild, und wenn man diesen Lagen nahe kommt, so verschwindet je mehr und mehr das ungewöhnliche Bild, wenn die Ebene des Hauptschnitts sich der Reflexions-Ebene nähert, dagegen das gewöhnliche oder durch gewöhnliche Brechung hervorgehende Bild, wenn der Hauptschnitt nahe senkrecht gegen die Reflexions-Ebene ist. Um über die Art der Polarisation des durch den Krystall gegangenen, vorher schon polarisirten Lichts zu urtheilen hat man nur nöthig zu sehn, wann der eine oder der andre aus dem Krystalle hervorgegangene Strahl nicht von dem zweiten Spiegel zurückgeworfen wird. War aus dem ersten Spiegel ein polarisirter Strahl senkrecht auf den Krystall gefallen und der Hauptschnitt des Krystalls weder mit der Reflexions- und Polarisations-Ebene parallel, noch auf sie senkrecht, so gehn zwei Strahlen hervor, und wenn man nun die Reflexions-Ebene des zweiten Spiegels L, der den Strahl unter dem Polarisationswinkel empfangen muſs, mit dem Hauptschnitte parallel stellt, so wird der gewöhnlich gebrochene Theil allein reflectirt, der ungewöhnlich gebrochene Strahl entzieht sich der Zurückwerfung, und das Umgekehrte findet statt, wenn diese Reflexions-Ebene senkrecht auf den Hauptschnitt ist.

Auf ähnliche Weise, wie hier der durch die Zurückwerfung vom ersten Spiegel polarisirte Strahl angewandt wurde, kann jeder in bestimmter Richtung polarisirte Strahl angewandt werden, und es zeigt sich, daſs er seine Polarisation so verändert, wie es der Lage der Axe des doppelt brechenden Krystalls gemäſs ist, daſs nämlich auch hier der im Krystalle gewöhnlich gebrochene Strahl seine Polarisations-Ebene der durch den Strahl und die Axe gelegten Ebene parallel hat, der ungewöhnlich gebrochene senkrecht gegen dieselbe.

27. Fresnel giebt nach seiner Theorie Gründe an, warum die Polarisation beider Strahlen so bestimmt wird. Der Aether im Doppelspath oder jedem ein-axigen Krystalle ist als ein elastisches Medium anzusehn, in welchem die beschleunigende Kraft, durch welche die in Vibration gesetzten Aethertheilchen zu ihrem Gleichgewichtszustande zurückgetrieben werden, rings um die Axe gleich, mit der Axe parallel aber eine an-

dere ist. Die Kraft, welche bei Verschiebung der Theilchen mit der Axe parallel wirksam ist, muſs die stärkere seyn bei den repulsiv oder negativ wirkenden Krystallen, wo nämlich der ungewöhnlich gebrochene Strahl weiter von der Axe entfernt liegt, und die schwächere bei den positiv wirkenden[1]. Die Eigenschaft des gewöhnlich gebrochenen Strahls ist eine von der Richtung gegen die Axe unabhängige Geschwindigkeit der Fortpflanzung und bei ihm müssen daher die Vibrationen auf die Axe senkrecht seyn; da nun seine Polarisations-Ebene in dem bisher angenommenen Sinne durch die Axe des Krystalls geht, so finden wir hier den Grund, die Vibrationen in jedem Falle als zugleich senkrecht auf die Richtung des Strahls und senkrecht auf die Polarisations-Ebene im polarisirten Strahle anzusehn. Im ungewöhnlich gebrochenen Strahle gehn die Vibrationen parallel mit der durch ihn und die Axe gelegten Ebene, nämlich senkrecht gegen die Ebene, die wir für ihn die Polarisations-Ebene nennen. Geht ein Strahl nach der Richtung der Axe selbst durch den Krystall, so stehn die Quervibrationen senkrecht auf der Axe und es findet nun keine ungleiche Fortpflanzungsgeschwindigkeit beider Strahlen statt, weil diese nur da statt finden kann, wo die Verschiebungen der Theilchen im ungewöhnlich gebrochenen Strahle nicht mehr senkrecht gegen die Axe sind; je mehr sie hievon abweichen, je näher sie der Axe parallel werden, desto gröſser wird der Unterschied beider Fortpflanzungsgeschwindigkeiten wegen der ungleichen Einwirkung, mit welcher die in verschiedenen Richtungen ungleichen Elasticitäten des Aethers die Fortpflanzung der beiden verschiedenen Vibrationen bestimmen. Hier erhellt nun auch am leichtesten und ganz den Principien der Statik gemäſs, warum die Geschwindigkeiten der nach zwei gegen einander senkrechten Richtungen zerlegten Vibrationen dem $Cos.\gamma$ und $Sin.\gamma$ und die durch das Maſs der lebendigen Kräfte bestimmten Intensitäten den Quadraten $A\ Cos.^2\gamma$, $A\ Sin.^2\gamma$ entsprechend sind, wenn die ursprüngliche Polarisations-Ebene mit der Ebene des Hauptschnitts den Winkel γ macht; $A\ Cos.^2\gamma$ ist dann die Intensität des gewöhnlich gebrochenen Strahls. War das einfallende Licht unpolarisirtes Licht, so hat, wegen des un-

1 Vergl. Art. *Brechung*. Bd. I. S. 1169. 1185.

Digitized by Google

aufhörlichen Wechsels der Richtungen der (immer auf die Richtung des Strahls senkrechten) Vibrationen, γ alle mögliche Werthe und es gehn daher gleiche Intensitäten beider Strahlen hervor [1].

28. Wenn ein Lichtstrahl gemischt aus polarisirtem und unpolarisirtem Lichte besteht, so gehn zwar die auf die natürliche Oberfläche des Krystalls senkrecht fallenden Strahlen immer in zwei Strahlen gespalten hervor, aber der gewöhnlich gebrochene ist der hellere, wenn der Hauptschnitt mit der Polarisations-Ebene des polarisirten Lichts zusammentrifft, weil dann kein Theil des letztern in den ungewöhnlich gebrochenen Strahl übergeht, sondern dieser einzig aus der Hälfte des unpolarisirten Lichts besteht, und ebenso ist der ungewöhnlich gebrochene Strahl aus dem gesammten polarisirten und der Hälfte des unpolarisirten Lichts zusammengesetzt, wenn der Hauptschnitt senkrecht gegen die Polarisations-Ebene des polarisirten Theils ist. Diese Ungleichheit der beiden Bilder, die sich bei einer Viertelsdrehung wechselnd zeigt, ist also ein Kennzeichen der theilweisen Polarisation des Strahls.

29. Eine sehr merkwürdige Einwirkung auf den unpolarisirten Strahl zeigen einige doppeltbrechende Krystalle, indem dünne Platten auf bestimmte Weise aus denselben geschnitten nicht jedes polarisirte Licht gleich gut durchlassen. Der Turmalin besitzt vorzüglich diese Eigenschaft. Die Krystallisationsform des Turmalins ist ein Prisma, das aus Theilchen von der primitiven Form des stumpfen Rhomboids zusammengesetzt ist; die Axe dieser Rhomboide läuft mit der Axe des Prisma's parallel. Schneidet man aus diesem Mineral Platten etwa $\frac{1}{2}$ Linie dick mit jener Axe parallel, so sind diese durchsichtig genug, um durch sie, wie durch gefärbtes Glas, die Gegenstände zu erkennen; auch wenn man zwei solche der Axe parallel geschnittene Platten vor das Auge hält und sie dabei so auf einander legt, daſs die Richtung

1 In Rücksicht auf die Frage, ob die Vibrationen senkrecht auf die Polarisations-Ebene sind, oder ob sie in dieser Ebene liegen, muſs Neumann's Abh. Theorie der doppelten Strahlenbrechung, abgeleitet aus Gleichungen der Mechanik (Poggend. XXV. 451.), nachgesehn werden. Da für die in diesem Artikel vorkommenden Anwendungen die Frage wohl unentschieden bleiben kann, so sey es mir vergönnt, bei Fresnel's Ausdrücken stehn zu bleiben.

Digitized by Google

der Axen in beiden Platten parallel bleibt, so ist keine so auffallende Verminderung des durchgelassenen Lichts zu bemerken; aber wenn man die eine Platte auf der andern dreht, so nimmt das durchgelassene Licht desto mehr ab, je näher die Axenrichtung der zweiten Platte senkrecht gegen die der ersten ist, und bei einigen Turmalinen tritt bei der letztern Lage völlige Undurchsichtigkeit ein. Läſst man einen polarisirten Lichtsrtahl auf eine dieser Platten fallen, so dringt er ohne erhebliche Schwächung durch, wenn die Richtung der Axe der Platte senkrecht auf die Polarisations-Ebene des Strahls ist, dagegen wird er fast gar nicht durchgelassen, wenn man der Platte die Stellung giebt, daſs die Axe mit der Polarisations-Ebene parallel ist.

Biot[1] hat diese von ihm zuerst entdeckte Eigenschaft des Turmalins so untersucht, daſs er einen Turmalin prismatisch schleifen lieſs, so daſs die Axe des Krystalls parallel mit den Kanten des Prisma's lag. Stellte man dann das Prisma so, daſs das Auge einen kleinen Gegenstand durch den dünnsten Theil des Prisma's sah, so erschien er doppelt, das ist, ein gewöhnlich gebrochener und ein ungewöhnlich gebrochener Strahl gelangten zum Auge; sah man aber durch den dickern Theil des Prisma's, so ward das eine Bild immer dunkler, während das andere fast ungeschwächt blieb. Der gewöhnlich gebrochene Lichtstrahl dringt nämlich nur durch dünne Turmalinblättchen, und wenn diese dicker sind, so ist der durchgelassene Strahl der ungewöhnlich gebrochene, dessen Polarisations-Ebene senkrecht gegen die in der Ebene der Platte liegende Krystallisations-Axe ist.

Die mit der Axe der Prismenkrystalle parallel geschnittenen Turmalinplatten haben also die Eigenschaft, daſs sie bei etwas gröſserer Dicke nur die senkrecht gegen die Axe polarisirten Strahlen durchlassen, und daher ist es zu erklären, daſs der schon polarisirte Strahl nur dann durchgelassen wird, wenn er in einer gegen die Axe des Turmalins senkrechten Ebene polarisirt ist.

30. Eben diese Eigenschaft entdeckte Brewster[2] schon

1 Biot Traité T. IV. p. 311.

2 Treatise on new philos. Instruments p. 330. und Philos. Transact. 1813. 101. 1814. 188.

früher am Achat, wenn die Achatplatte senkrecht auf seine natürlichen Schichten geschnitten ist, wo aber der Strahl natürlichen Lichts so polarisirt wird, daſs die Polarisations-Ebene parallel mit den Schichten ist. Auch diese Platten halten den entgegengesetzt polarisirten Strahl vollkommen auf. Einige Saphire besitzen gleichfalls eine ähnliche Eigenschaft, indem der Axe parallel geschnittene Platten, wenn man einen polarisirten Strahl durch sie zum Auge gelangen läſst, diesen sehr verdunkelt mit tief blauer Färbung in der einen und hell mit einer sehr geringen gelblichen Färbung in der gegen die vorige senkrechten Stellung der Axe zeigen [1].

Diese Eigenschaft, das polarisirte Licht zu absorbiren, muſste hier erwähnt werden, weil diese Körper uns ein Mittel darbieten, um polarisirte Lichtstrahlen von unpolarisirten zu unterscheiden, indem eine der Axe des Krystalls parallel geschnittene Turmalinplatte den *unpolarisirten*, senkrecht auffallenden Lichtstrahl in allen Stellungen gleichmäſsig durchläſst, statt daſs der *polarisirte* Strahl bei den angegebenen Stellungen nicht oder wenigstens sehr geschwächt durchgelassen wird, weshalb der das polarisirte Licht aussendende Körper in diesem Falle dunkel erscheint. Enthält der Lichtstrahl zugleich einiges nach bestimmter Richtung polarisirtes Licht und einiges unpolarisirtes, so ist wenigstens eine merkliche Schwächung des Lichts bei bestimmten Stellungen des Krystalls sichtbar.

31. Diese Untersuchungen betrafen insgesammt das durch krystallisirte Körper durchgehende Licht; man kann aber mit Recht die Frage aufwerfen, ob die Kraft, von welcher die doppelte Brechung abhängt, vielleicht auch auf die bei der Zurückwerfung eintretende Polarisation Einfluſs habe.

Daſs auch die doppelt brechenden Krystalle dem von ihrer äuſsern Oberfläche reflectirten Lichte eine Polarisation ertheilen und daſs es einen bestimmten Polarisationswinkel giebt, bei welchem die Polarisation am vollkommensten ist, läſst sich schon vermuthen, auch hat bereits Malus die Frage aufgeworfen, ob dieser Polarisationswinkel, beim Doppelspath zum Beispiel, derselbe sey, wenn die Reflexions-Ebene mit der

1 Brewster erwähnt einen solchen die Farben wechselnden Saphir. Phil. Tr. 1819. 16.

Digitized by Google

Ebene des Hauptschnitts zusammenfällt und wenn sie senkrecht gegen ihn ist. Malus fand keinen Unterschied [1], aber Brewster hat die Untersuchung weiter fortgeführt [2]. Er bediente sich eines Doppelspaths, für den bei der Zurückwerfung von seiner natürlichen Oberfläche der Polarisationswinkel 57° 14′ war, wenn die Zurückwerfungs-Ebene mit der kurzen Diagonale zusammenfiel, und 59° 32′, wenn sie gegen diese Diagonale senkrecht war. Dieser Unterschied, der sich auch bei andern Doppelspathkrystallen nicht viel erheblicher zeigte, schien also nicht sehr in Betrachtung zu kommen.

32. Seebeck hat diese Bestimmung der Polarisationswinkel mit groſser Sorgfalt und in noch mehr verschiedenen Fällen wiederholt [3]. Schon Brewster hatte bemerkt, daſs der Polarisationswinkel von der Neigung der spiegelnden Oberfläche gegen die Axe doppelter Brechung abhänge, also ein anderer sey, wenn diese Neigung, die $=90° - \lambda$ seyn möge, für künstlich geschnittene Oberflächen verschiedene Werthe erhält; er giebt aber dennoch in seiner Formel nur die Abhängigkeit von dem Winkel $=\eta$, den die Zurückwerfungs-Ebene mit dem Hauptschnitte des Krystalls macht, an, und Seebeck sucht nun die Abhängigkeit von beiden Gröſsen zu bestimmen. Hier ergiebt sich zuerst, daſs für eine durch die Axe selbst gelegte spiegelnde Oberfläche und eine alsdann senkrecht gegen die Axe gerichtete Reflexions-Ebene ($\lambda = 90°$, $\eta = 90°$) die Kraft der doppelten Brechung ohne Einfluſs ist, und daſs das Brewster'sche Gesetz für einfach brechende Körper, nämlich die Tangente des Polarisationswinkels gleich dem Brechungs-Index $=\mu$, auch hier gilt, wenn man den Brechungs-Index für den gewöhnlich gebrochenen Strahl nimmt. Dieser Polarisationswinkel $=$ b ist also durch Tang. b $= \mu$ bestimmt. Bezeichnet man aber mit a den Polarisationswinkel für $\lambda = 90°$ und $\eta = 0$, mit c den Polarisationswinkel für $\lambda = 0$, für eine gegen die Axe senkrechte Oberfläche des Krystalls, so hält Seebeck die Formeln Sin. a $= \mu$ Cos. c und Sin. c $=$ m Cos. a, wo m der Brechungs-Index für die ungewöhnlich gebrochenen Strahlen ist, also

1 Théorie de la double refr. p. 211.
2 Phil. Transact. for 1819. 150.
3 Poggend. XXI. 290.

Digitized by Google

$\text{Tang. } a = \mu \sqrt{\frac{m^2 - 1}{\mu^2 - 1}}$ und $\text{Tg. } c = m \sqrt{\frac{\mu^2 - 1}{m^2 - 1}}$, für die den Versuchen am besten entsprechenden. Bei jedem constanten Werthe von λ erreicht der Polarisationswinkel sein Minimum für $\eta = 0$ und wächst bis $\eta = 90^\circ$; für jeden constanten Werth von η ist der Polarisationswinkel am kleinsten für $\lambda = 90^\circ$ und wächst bis $\lambda = 0^\circ$. Nennt man nun bei ingend einem constanten Werthe von λ den Polarisationswinkel $= \alpha$, wenn $\eta = 0$ ist, und $= \beta$, wenn $\eta = 90^\circ$ ist, so ist für denselben Werth von λ allgemein der Polarisationswinkel $= \varphi$ durch $\text{Cotang. } \varphi = \text{Cos.}^2 \eta . \text{ Cotang. } \alpha + \text{Sin.}^2 \eta . \text{ Cotang. } \beta$ bestimmt, und ferner $\text{Cotang. } \alpha = \text{Sin.}^2 \lambda . \text{ Cotang. a} + \text{Cos.}^2 \lambda . \text{ Cotang. c}$;

$$\text{Cotang. } \beta = \text{Sin.}^2 \lambda . \text{ Cotang. b} + \text{Cos.}^2 \lambda . \text{ Cotang. c.}$$

Diese Formeln wichen von Seebeck's Versuchen nur einmal um $\frac{1}{4}$ Gr. ab, und da die verschiedenen Mittel, die zur Politur der künstlichen Oberflächen angewandt wurden, Ungleichheiten zur Folge hatten, so darf man eine gröſsere Uebereinstimmung wohl nicht erwarten[1].

33. Brewster hat an die Bemerkung, daſs der Polarisationswinkel die eben betrachteten Aenderungen erleide, eine neue Untersuchung geknüpft, die ihm vorzüglich wichtig schien, um zu entdecken, ob die auf die ungewöhnliche Brechung wirkenden Kräfte auch die Richtung der Polarisation oder die Lagen der Polarisations-Ebene verändern. Beim Auffallen des Strahls in der Luft auf den Kalkspath war eine solche Aenderung nicht merklich[2]; er überlegte aber, daſs man die die Zurückwerfung bewirkende Kraft sehr schwächen könne, wenn man den Strahl aus einer Flüssigkeit, die fast ebenso stark brechend als der Kalkspath wirkt, auf seine Oberfläche auffallen lasse, und daſs da die Einwirkung jener von der Axe

---

1 Brewster hat für φ die Formel $\varphi = \alpha + (\beta - \alpha) . \text{ Sin.}^2 \eta$, die nach Seebeck sich nicht sehr weit von den Versuchen entfernt; es kann daher auffallend scheinen, daſs nach Seebeck's Angabe die Cotangenten statt der Winkel gesetzt werden können, und wirklich kann eine solche Unsicherheit auch nur bei so geringen Unterschieden der äuſsersten Werthe statt finden. Sind z. B. $\beta = 58^\circ 55'$, $\alpha = 54^\circ 3'$, so ist für $\eta = 45^\circ$ nach Brewster $\varphi = 56^\circ 29'$, nach Seebeck's Cotangentenformel $\varphi = 56^\circ 25'$.

2 Seebeck hat auch da Aenderungen, wiewohl von geringer Gröſse, bemerkt. Poggend. XXI. 292.

Digitized by Google

des Krystalls ausgehenden Kraft deutlichere Erfolge zeigen möge. Brewster bedeckte daher die Oberfläche des Kalkspaths mit Cassia-Oel, und indem diese flüssige Schicht durch eine etwas geneigt aufgelegte Glastafel zu einer prismatischen Form gebracht wurde, lieſs es sich leicht bewirken, daſs der von der Oberfläche des Kalkspaths reflectirte Strahl getrennt von dem an der Oberfläche des Oeles reflectirten Strahle hervorging.

Der Polarisationswinkel für den aus Cassia-Oel auf die natürliche Oberfläche des Kalkspaths fallenden Strahl war $45\frac{1}{2}°$, es muſste also die brechende und zurückwerfende Kraft sehr gering seyn; die Polarisations-Ebene des zurückgeworfenen Strahls fand sich aber nun ganz verschieden für ungleiche Lagen der Reflexions-Ebene gegen die Ebene, welche durch die um 45° 23',5 gegen die spiegelnde Ebene geneigte Axe ging. Nenne ich auch hier η den Winkel, den die Zurückwerfungs-Ebene mit dem Hauptschnitte des Krystalls macht, so fiel für $\eta = 0$ die Polarisations-Ebene, wie bei unkrystallisirten Körpern, mit der Reflexions-Ebene zusammen. Für $\eta = 12°$, wenn dabei die stumpfe körperliche Ecke des Krystalls am meisten entfernt vom Auge war, fand sich die Polarisations-Ebene um 45° geneigt gegen die Reflexions-Ebene. Für $\eta = 42°$ stand die Polarisations-Ebene senkrecht auf der Reflexions-Ebene. Für $\eta = 90°$ war eben diese Neigung $-45°$ oder $+135°$; für $\eta = 180°$ oder bei der dem Auge zunächst gestellten Lage der stumpfen Ecke war sie $= 0$ oder $= 180°$; für $\eta = 135°$ ungefähr war jene Neigung $= -10°$ oder $+170°$. Die starke Aenderung der Polarisation, während η von 0° bis 42° fortgeht, zeigt deutlich, daſs diese Aenderung von dem Winkel abhängt, welchen der einfallende Strahl mit der Axe der doppelten Brechung macht.

Hatte man Wasser statt des Cassia-Oels genommen, so war das Licht vollkommen polarisirt, wenn die Reflexions-Ebene mit der kurzen Diagonale der natürlichen Oberfläche zusammenfiel, und wurde dagegen nicht vollkommen polarisirt, wenn die Zurückwerfungs-Ebene mit der langen Diagonale zusammenfiel. Andere Fluida brachten noch andere Verschiedenheiten hervor.

Als eine künstliche, senkrecht gegen die Axe geschnittene, Oberfläche angewandt und mit Cassia-Oel bedeckt wurde, fand

Digitized by Google

sich bei allen Lagen der Reflexions-Ebene die Aenderung der Polarisation $= 75°$. Alle Fälle aber schienen sich durch die Formel $\text{Sin.}\,\frac{1}{2}\,C = \sqrt{\text{Sin.}\,\varphi}$ darstellen zu lassen, wenn C die Aenderung der Polarisation und φ den Winkel des einfallenden Strahls mit der Axe darstellt. Diese Formel stimmt wenigstens in dem Falle, wo die Axe 45° 23',5 gegen die spiegelnde Fläche geneigt war, mit den Erfahrungen überein; denn da der Polarisationswinkel 45°,5 betrug, so war $\varphi = C = 0$ für $\eta = 0$, dagegen $\varphi = 29°\ 34'$, also $C = 89°\ 8'$ für $\eta = 42°$, und ferner für $\eta = 90°$ war C ungefähr $= 138°$.

34. Brewster zieht hieraus den Schluſs, die Kraft, welche die Polarisation hervorbringt, erstrecke sich weiter als die Kraft, welche die Zurückwerfung bewirkt; denn die Zurückwerfung unter dem Polarisationswinkel bringe gewiſs die Polarisation der Zurückwerfungs-Ebene entsprechend hervor, die Abweichung der Polarisation von dieser Ebene sey also als eine spätere Wirkung anzusehn.

Brewster giebt noch einen zweiten Beweis, daſs die Kraft der doppelten Brechung sich über die Oberfläche selbst hinaus erstrecke, der aber weniger hieher gehört.

IV. Vollständigere Untersuchungen über die durch Zurückwerfung und durch Brechung polarisirten Strahlen.

35. Mehrere diesen Gegenstand betreffende Fragen konnten vorhin nicht vollständig beantwortet werden, weil die Hülfsmittel dazu noch nicht angegeben waren. Ich komme daher zuerst auf die Frage zurück, wie ein nicht unter dem Polarisationswinkel zurückgeworfener Strahl sich von gewöhnlichem Lichte unterscheidet. Es ist schon erwähnt worden, daſs ein von dem ersten Spiegel unseres Instruments unter einem andern Winkel als dem Polarisationswinkel zurückgeworfener Strahl in allen Lagen des zweiten Spiegels zum Theil zurückgeworfen wird, und man hat dieses meistens so erklärt, daſs der reflectirte Strahl zwar einiges in der Ebene der Zurückwerfung polarisirtes Licht, aber zugleich auch gänzlich unpolarisirtes Licht enthalte, und daſs das letztere selbst da reflectirt werde, wo jenes sich der Zurückwerfung ent-

zieht [1]. Diese Ansicht, die selbst Herschel beibehält, scheint mir aber unrichtig, und vorzüglich Brewster hat hierauf aufmerksam gemacht. Daſs Herschel diese Ansicht so wenig berücksichtigt hat, ist um so auffallender, da er Fresnel's Formeln für die Intensität der reflectirten Strahlen anwendet und diese in so naher Beziehung stehn mit Formeln und selbst mit Versuchen, welche die Aenderung der Polarisations-Ebene betreffen [2].

36. Schon sehr früh hatte Brewster gezeigt [3], daſs ein von einer Glasplatte unter dem Winkel 62° 30′ oder auch unter dem Winkel 50° 26′ reflectirter Strahl bei einer zweiten Zurückwerfung unter eben diesen Winkeln vollständig polarisirt werde, und hieraus schloſs er, daſs gewiſs nicht ein Theil bei der ersten Reflexion seine Natur ganz ungeändert behalten habe, indem dieser Theil sonst nur bei dem eigentlichen Polarisationswinkel = 56° 45′ vollkommen hätte polarisirt werden können. Diesem Schlusse lieſs sich indeſs das entgegensetzen, daſs wir über *vollkommene* Polarisation nur sofern urtheilen können, als sich bei den früher erwähnten Proben kein merklicher Ueberrest unpolarisirten Lichts zeigt; wäre aber ein solcher Ueberrest dennoch, obgleich in nicht mehr merklichem Maſse, vorhanden, so würde der Schluſs seine Kraft verlieren. Nähme man z. B. an, ein Hundertel des Lichts könne, wenn es auch unpolarisirt bleibt, unserer Beobachtung entgehn, so könnten wohl bei dem Einfallswinkel = 50° 26′ neun Zehntel polarisirt seyn, ein Zehntel ganz ungeändert bleiben, und eben diesem Gesetze gemäſs würde sich bei der zweiten Reflexion, die unter demselben Winkel geschieht, neun Hundertel jenen neun Zehnteln beifügen, ein Hundertel aber ungeändert bleiben; der Strahl würde uns also für völlig polarisirt gelten, obgleich er noch ein Hundertel unpolarisirtes Licht enthielte. Eben das könnte bei andern Winkeln, die eine mehrmalige Zurückwerfung fordern, damit der Strahl ganz polarisirt erscheine, noch eher statt finden. Aber wenn gleich dieser Schluſs nicht streng genug war, so hatte Brewster dennoch Recht, wie auch Fresnel es gefunden hat.

---

1 Herschel §. 847.
2 Ann. de Ch. et Th. XVII. 179. 312. Poggend. XXII. 87.
3 Phil. Tr. 1815. 142.

Digitized by Google

37. Da ich im Folgenden immer genöthigt seyn werde auf Fresnel's Formeln zurückzukommen, so ist es wohl am angemessensten, daſs ich ihre Entstehung hier zuerst zeige[1].

Die beiden Hauptfälle, wo der auf die Trennungs-Ebene zweier Medien treffende Strahl entweder in der Einfalls-Ebene polarisirt ist, oder senkrecht gegen dieselbe, müssen jeder besonders betrachtet werden. Fällt die ursprüngliche Polarisations-Ebene mit der Einfalls-Ebene zusammen, so sind die Lichtvibrationen Verschiebungen, die mit der brechenden und reflectirenden Ebene parallel sind, und auch nach dem Eindringen in das neue Medium findet im gebrochenen Strahle und ebenso nach der Zurückwerfung im reflectirten Strahle dasselbe statt. Man kann annehmen, daſs die Amplituden der Oscillationen und ihre Geschwindigkeiten in jedem Elemente der zurückgeworfenen und gebrochenen Welle ebenso groſs bleiben, als in der einfallenden; aber Volumen und Masse der Fig. 90. in Vibration gesetzten Theile sind nicht gleich. Es stelle AB eine ebene Welle vor der Brechung, ab nach der Brechung vor, so ist, wenn i den Einfallswinkel bedeutet, $AB = Ab. \operatorname{Cos.} i$ und $ab = Ab. \operatorname{Cos.} i'$, wenn i′ der Brechungswinkel ist. Bekanntlich sind auch die Längen der Undulationen $Bb = Ab. \operatorname{Sin.} i$, $Aa = Ab. \operatorname{Sin.} i'$, also verhalten sich die Volumina vor und nach der Brechung, wie $\operatorname{Sin.} i. \operatorname{Cos.} i$ zu $\operatorname{Sin.} i'. \operatorname{Cos.} i'$. Um die Massen zu bestimmen, legen wir dem Aether innerhalb und auſserhalb des brechenden Körpers gleiche Elasticitäten und ungleiche Dichtigkeiten bei, die also aus bekannten Gründen den Quadraten der Fortpflanzungsgeschwindigkeiten umgekehrt proportional oder wie $\frac{1}{\operatorname{Sin.}^2 i}$ zu $\frac{1}{\operatorname{Sin.}^2 i'}$ sind, und es sind die in Erschütterung gesetzten Massen wie Cotang. i zu Cotang. i′. Eben dieses Verhältniſs gilt für die Masse in der zurückgeworfenen Welle in Vergleichung zu der gebrochen fortgepflanzten, da die zurückgeworfene mit der einfallenden übereinstimmend ist.

Bei dem Antreffen der einfallenden Welle sey eines Theilchens Vibrationsgeschwindigkeit $= 1$ und die entsprechende Geschwindigkeit in der reflectirten Welle $= u$, in der refran-

---

1 Ann. de Ch. et Ph. XVII. 194. 312. XXIX. 181. XLVI. 225. und Poggend. XXII. 80. 90.

Digitized by Google

girten $=v$, alsdann muſs nach dem Princip der Erhaltung der lebendigen Kräfte

$$1.\ \text{Cotang.}\ i = u^2.\ \text{Cotang.}\ i + v^2.\ \text{Cotang.}\ i'\ \text{seyn.}$$

Um hier nun u und v zu bestimmen, wird die Hülfshypothese angenommen, daſs die Bewegungen, welche parallel der brechenden Fläche geschehn, auf beiden Seiten derselben gleich sind. Bei Strahlen, deren ganze Vibrationen der brechenden Fläche parallel liegen, sind 1, u, v selbst diese Geschwindigkeiten der Verschiebung, also $1 + u = v$; dieses in die obige Formel gesetzt wird

$$\frac{1-u}{1+u}\ \text{Cotang.}\ i = \text{Cotang.}\ i',$$

$$\text{woraus}\ u = -\frac{\text{Sin.}\,(i-i')}{\text{Sin.}\,(i+i')}\ \text{folgt.}$$

In dem zweiten Hauptfalle gilt das, was so eben von den ganzen Verschiebungen galt, nach der Hülfshypothese von ihren mit der Brechungs-Ebene parallelen Componenten, und da hier die Verschiebungen in der Einfalls-, Reflexions- und Refractions-Ebene selbst liegen, und zwar senkrecht auf den Strahl, so sind die mit der brechenden Ebene parallelen Componenten $= 1.\ \text{Cos.}\ i$, $= u.\ \text{Cos.}\ i$, $= v\ \text{Cos.}\ i'$.
Die Hülfshypothese giebt

$$(1+u)\ \text{Cos.}\ i = v.\ \text{Cos.}\ i'$$

und in Verbindung mit jener aus der Erhaltung der lebendigen Kräfte hergeleiteten Gleichung ist

$$(1-u^2)\ \text{Cotang.}\ i = v'^2\ \text{Cotang.}\ i' = \frac{(1+u^2)\ \text{Cos.}^2\ i}{\text{Sin.}\ i'.\ \text{Cos.}\ i'},$$

$$\text{also}\ \frac{1-u}{1+u} = \frac{\text{Sin.}\ 2i}{\text{Sin.}\ 2i'},$$

$$u = -\left\{\frac{\text{Sin.}\ 2i - \text{Sin.}\ 2i'}{\text{Sin.}\ 2i + \text{Sin.}\ 2i'}\right\}.$$

Dieser Werth der Geschwindigkeit der Quervibrationen im reflectirten Strahle wird $=0$, wenn $2i = 180° - 2i'$ oder $i = 90° - i'$ ist, und wir finden also hier das Gesetz von Brewster wieder, daſs der in einer gegen die Reflexions-Ebene senkrechten Ebene polarisirte Strahl gar nicht zurückgeworfen wird, wenn der Strahl unter dem Polarisationswinkel auffällt. (S. nr. 12.)

Wenn i und i' sehr klein sind, so ist $i = \frac{1}{\mu}.i'$, wenn μ das

Digitized by Google

Brechungsverhältniſs bei dem Uebergange in den zweiten Körper ist, und man hat dann für beide Hauptfälle $u = \frac{i - i'}{i + i'} = \frac{1 - \mu}{1 + \mu}$, als geltend für den senkrecht reflectirten Strahl, dessen Intensität also durch $\left(\frac{1 - \mu}{1 + \mu}\right)^2$ ausgedrückt wird, wie es Young und Poisson aus ganz anders geordneten Schlüssen hergeleitet haben[1].

An diese Betrachtung der beiden Hauptfälle der ursprünglichen Polarisation lassen sich die Bestimmungen für andere Fälle leicht anschlieſsen. Es sey der Winkel der Polarisations-Ebene mit der Einfalls-Ebene $= \alpha$, so machen die Vibrationen der einfallenden Strahlen einen Winkel $= 90^\circ - \alpha$ mit der Einfalls-Ebene; man kann daher die Vibrationen zerlegen nach der Richtung der Einfalls-Ebene und senkrecht auf sie. Jene erste Componente ist dem Sin. α, die letzte dem Cos. α proportional. War nun im reflectirten Strahle, der seine Vibrationen in der Reflexions-Ebene machte,

$$u = - \frac{\text{Sin.} 2i - \text{Sin.} 2i'}{\text{Sin.} 2i + \text{Sin.} 2i'},$$

so wird dieser Werth hier

$$= - \left\{\frac{\text{Sin.} 2i - \text{Sin.} 2i'}{\text{Sin.} 2i + \text{Sin.} 2i'}\right\} \text{Sin } \alpha$$

$$= - \text{Sin.} \alpha. \frac{\text{Tang. } (i - i')}{\text{Tang. } (i + i')},$$

und für Vibrationen senkrecht auf die Reflexions-Ebene geht $u = - \frac{\text{Sin. } (i - i')}{\text{Sin. } (i + i')}$ in $- \text{Cos.} \alpha. \frac{\text{Sin. } (i - i')}{\text{Sin. } (i + i')}$ über. Da u in beiden Fällen die wahre Geschwindigkeit der in Vibration gesetzten Theile bedeutet, so ist das Quadrat der Geschwindigkeit, die aus der Zusammensetzung beider entsteht,

$$= \frac{\text{Sin.}^2 \alpha. \text{ Tang.}^2 (i - i')}{\text{Tang.}^2 (i + i')} + \text{Cos.}^2 \alpha. \frac{\text{Sin.}^2 (i - i')}{\text{Sin.}^2 (i + i')},$$

und dieses ist der Ausdruck für die Intensität des reflectirten Lichts.

38. Diese Betrachtungen führen auch auf die Aenderung der Polarisations-Ebene für den reflectirten Strahl. Wir fan-

---

1 Vergl. Art. *Licht* S. 362. 365.

den nämlich für einen Strahl, dessen Polarisations-Ebene unter dem Winkel α gegen die Reflexions-Ebene geneigt war, daſs man die Geschwindigkeiten der in den Oscillationen verschobenen Theilchen durch $= - \text{Sin.}\,\alpha.\ \frac{\text{Tang.}(i - i')}{\text{Tang.}(i + i')}$ in der Reflexions-Ebene und durch

$$= - \text{Cos.}\,\alpha.\ \frac{\text{Sin.}\,(i - i')}{\text{Sin.}\,(i + i')}\quad \text{senkrecht}$$

gegen dieselbe ausdrücken kann. Diese beiden Componenten behalten gleiche Werthe für den ganzen Fortgang des Strahls und sind anzusehn als aus Zerlegung einer Oscillation entstanden, die unter einem Winkel $= \alpha'$ gegen die Reflexions-Ebene geneigt ist, dessen Tangente der Quotient jener beiden Werthe ist, also

$$\text{Tang.}\,\alpha' = \text{Tang.}\,\alpha.\ \frac{\text{Cos.}\,(i + i')}{\text{Cos.}\,(i - i')},$$ und hier ist α' der Winkel, den die neue Polarisations-Ebene mit der Einfalls-Ebene macht. Die Polarisations-Ebene hat also eine Drehung $= \alpha - \alpha'$ erlitten und der Strahl ist in dieser neuen Ebene ganz so vollkommen polarisirt, als er es vorhin in jener Ebene war.

39. Fresnel führt einige Versuche an, welche diese Aenderung der Polarisations-Ebene zeigen [1]; da indeſs Brewster's Versuche vollständiger sind, so will ich nur diese hier betrachten [2]. Brewster beschreibt die Versuche nicht genau, ich werde sie hier so darstellen, wie er sie ohne Zweifel angestellt hat und wie ich sie den wesentlichsten Umständen nach wiederholt und bestätigt gefunden habe. Alle Zahlen, die ich anführe, sind aus Brewster's Arbeit entlehnt.

Es werde vor dem ersten Spiegel J des Polarisations-Instruments ein Doppelspathkrystall so aufgestellt, daſs ein natürlicher Lichtstrahl senkrecht auf seine Oberfläche falle, und zugleich habe der Krystall die Lage, daſs sein Hauptschnitt um 45° geneigt sey gegen die Einfalls- oder Reflexions-Ebene des ersten Spiegels J. Es ist bekannt, daſs der Lichtstrahl, welcher unpolarisirt auf den Krystall auffällt, in zwei polarisirte Strahlen gespalten hervorgeht, daſs er also auch vom Spiegel J in zwei Strahlen gespalten zurückgeworfen wird, daher denn ein Fig. 84.

1 Poggend. XXII. 87.

2 Phil. Tr. 1830. 69. und Poggend. XIX. 259.

Auge in O, wenn der zweite Spiegel weggenommen ist, den Gegenstand, von welchem jener Strahl ausging, in J doppelt gespiegelt sieht. Nach der angenommenen Stellung des Doppelspaths waren jene zwei auf J auffallende Strahlen in Ebenen polarisirt, welche um + 45° und — 45° gegen die Reflexions-Ebene geneigt sind, indem der gewöhnlich gebrochene Strahl in der Ebene des Hauptschnitts, der ungewöhnlich gebrochene Strahl senkrecht gegen dieselbe polarisirt ist. In der angegebnen Stellung bleibt der Doppelspath bei allen zunächst zu beschreibenden Versuchen, aber dem Spiegel J giebt man nach und nach verschiedene Neigungswinkel gegen den einfallenden Strahl; der zweite Spiegel NO bleibt dagegen auf den Polarisationswinkel, der bei Brewster's Versuchen 56° betrug, gestellt.

Wir wollen nun zuerst auch den Spiegel J auf den Polarisationswinkel gestellt annehmen, so nämlich, daſs die unter diesem Winkel einfallenden Strahlen nach der Zurückwerfung die Axe GE des Instruments durchlaufen. In diesem Falle sieht man im zweiten Spiegel, wenn seine Reflexions-Ebene mit der des ersten Spiegels zusammenfällt, beide Bilder gleich, oder beide aus dem Krystalle hervorgegangene und am ersten Spiegel reflectirte Strahlen werden gleich gut am zweiten zurückgeworfen, und diese Gleichheit bleibt, obgleich beide Bilder zugleich an Glanz abnehmen, auch wenn man den zweiten Spiegel um die Axe des Instruments dreht, bis bei der Stellung auf 90° (wo beide Reflexions-Ebenen auf einander senkrecht sind) beide Bilder verschwinden. Hier also sind beide Strahlen bei ihrer Zurückwerfung vom ersten Spiegel so polarisirt, daſs ihre Polarisations-Ebene mit der ersten Reflexions-Ebene zusammenfällt. Die Neigung der beiden Polarisations-Ebenen gegen die erste Zurückwerfungs-Ebene ist von + 45° und — 45° auf 0° zurückgeführt. Zu einem zweiten Versuche stelle man den ersten Spiegel, während sonst alles ungeändert bleibt, auf 70° Einfallswinkel oder 20° gegen die Axe des Instruments geneigt und lasse die zwei Strahlen so auffallen, daſs sie auch jetzt nach der Zurückwerfung die Axe des Instruments durchlaufen, so erscheinen im zweiten Spiegel beide Bilder lebhaft und gleich, wenn seine Reflexions-Ebene mit der ersten Reflexions-Ebene zusammenfällt; dreht man aber den zweiten Spiegel um die Axe des Instruments, so verschwindet das eine Bild, wenn die Drehung bis 69° fortgerückt ist, und dann ist

das zweite Bild noch lebhaft; hat man den Spiegel bis 90° fortgerückt, so erscheinen beide Bilder gleich hell, aber von schwachem Lichte, und das zweite Bild verschwindet, wenn die Drehung bis 111° fortgesetzt ist, wo das erste schon wieder lebhaft kenntlich wird. Jenes erste Bild gehörte also einem Strahle, der bei seinem Hervorgehn aus dem ersten Spiegel so polarisirt war, daſs seine Polarisations-Ebene mit der ersten Reflexions-Ebene einen Winkel $= 69° - 90° = - 21°$ machte; für das zweite Bild ist derselbe Winkel $111° - 90° = + 21°$; es haben also die beiden Strahlen, deren Polarisations-Ebenen sich vor der ersten Zurückwerfung um $+ 45°$ und $- 45°$ geneigt gegen jene Ebene fanden, sich so verändert, daſs ihre Polarisations-Ebenen nun auf $+ 21°$ und $- 21°$ Neigung liegen.

Man kann diese Aenderung der Polarisations-Ebene noch auf eine zweite Art bestätigen. Wenn der Doppelspath vor dem ersten Spiegel ebenso wie vorhin aufgestellt bleibt und beide Strahlen unter 70° Einfallswinkel auf den ersten Spiegel fallen, so nehme man den zweiten Spiegel weg und stelle in der Axe des Instruments einen zweiten Doppelspath auf, um durch ihn die zwei vom ersten Spiegel reflectirten Bilder zu betrachten. Da die Polarisations-Ebenen der beiden einfallenden Strahlen unter $+ 45°$ und $- 45°$ gegen die Reflexions-Ebene geneigt waren, so müſsten, wofern jene Polarisation ungeändert geblieben wäre, die vier Bilder, die man durch den zweiten Doppelspath sieht, nur zwei darstellen, wenn der Hauptschnitt des letztern einen Winkel von 45° mit der Reflexions-Ebene macht; dieſs geschieht aber nicht, sondern bei einer Neigung des Hauptschnitts von etwa 20° oder nach Brewster von 21° verschwindet das eine Doppelbild des einen Strahls, bei einer Neigung von $- 21°$ das eine Doppelbild des andern Strahls, und bei den beiden von diesen Stellungen um 90° abweichenden Stellungen ereignet sich dasselbe mit dem andern Doppelbilde.

40. Diese Erörterungen lassen nun, wie ich hoffe, deutlich übersehn, worauf Brewster's Behauptung beruhet, daſs auch das auf den ersten Spiegel fallende natürliche Licht da, wo es unvollkommen polarisirt ist, eine physische Veränderung auf die Weise erlitten hat, daſs es keineswegs aus einem ganz polarisirten (in der Reflexions-Ebene polarisirten) An-

theile und einem völlig unveränderten Antheile bestehe. Nach seinen Versuchen, bei denen er zwei Lichtstrahlen, deren Polarisations-Ebenen *vor* der Zurückwerfung unter ± 45° gegen die Reflexions-Ebene geneigt waren, anwandte, fand sich *nach* der Reflexion diese Neigung = ± 45° bei 90° Einfallswinkel,
= ± 33°5 bei 80°,
= ± 21° bei 70°,
= ± 6°,25 bei 60°,
= 0° bei 56° = dem Polarisationswinkel,
= ± 9° bei 50°,
= ± 23° bei 40°,
= ± 40° bei 20°.

41. Dieselben Versuche lieſsen sich so wiederholen, daſs man des einen einfallenden Strahls Polarisations-Ebene in eine Neigung von 30°, 20° u. s. w. gegen die Reflexions-Ebenen brachte und die Aenderung der Polarisations-Ebenen *nach* der Zurückwerfung bestimmte. Brewster führt eine solche Beobachtungsreihe an, wo bei ungeändertem Einfallswinkel = 75° die Aenderung der Polarisations-Ebene folgende war. Stimmte diese vorher mit der Reflexions-Ebene überein, so blieb auch nachher ihre Neigung gegen diese = 0; war aber die Neigung vorher = 20°, so war sie nachher = 10°,
= 40° - - - = 22°,5,
= 60° - - - = 40°,5,
= 80° - - - = 70°,5,
= 90° - - - = 90°.

Alle Versuche stimmten, obgleich sie theils mit Glas, theils mit Diamant angestellt wurden, so nahe mit Fresnel's Formel überein, daſs man diese als die vollkommen richtige Darstellung aller Versuche ansehn konnte.

Diese Formel, in welcher i der Einfallswinkel, i' der Brechungswinkel ist, α aber die Neigung der Polarisations-Ebene gegen die Reflexions-Ebene *vor* der Zurückwerfung, α' *nach* der Zurückwerfung bedeutet, war [1]

$$\text{Tang.}\,\alpha' = \text{Tang.}\,\alpha.\ \frac{\text{Cos.}\,(i + i')}{\text{Cos.}\,(i - i')}.$$

1 nr. 88.

Wenn $i =$ dem Polarisationswinkel ist, so wird $i + i' = 90°$ und $\alpha' = 0$, es mochten vor der Zurückwerfung die Lichtstrahlen, in welcher Ebene man will, polarisirt gewesen seyn, und so zeigt also diese Formel, daſs dieser Winkel der Winkel vollkommener Polarisation in der Zurückwerfungs-Ebene ist, weil für ihn alle Strahlen auf die Polarisation in dieser Ebene gebracht werden.

42. Brewster wendet diese Betrachtungen vorzüglich nur auf Strahlen an, die aus einem in $+ 45°$ und $- 45°$ Neigung polarisirten Lichte gemischt einfielen. Von diesen erhellt nun, daſs sie für $i = 62° \; 30'$, womit $i' = 36° \; 45'$ zusammengehört, in $\pm 10° \; 7'$ polarisirt waren, aber bei einer zweiten Reflexion unter demselben Winkel $i = 62° \; 30$ ist dann $\alpha = 10° \; 7'$, also $\alpha' = 1° \; 50'$, und diese Strahlen sind nach zwei Reflexionen fast in der Ebene der Zurückwerfung, nur um $\pm 1° \; 50'$ von ihr abweichend, polarisirt. Ebenso für $i = 50° \; 20'$, $i' = 31° \; 17'$, $\alpha = 45°$ ist $\alpha' = 8° \; 46'$ und nach der zweiten Reflexion unter demselben Winkel $\alpha = 8° \; 46'$, $\alpha' = 1° \; 22'$. Will man für drei Reflexionen rechnen, so sollten nach Brewster diese die vollkommene Polarisation bewirken, wenn i entweder $= 65° \; 33'$ oder $46° \; 30'$ ist. Nenne ich nun α, α', α'', α''' die Neigungen der Polarisations-Ebenen vor der ersten und nach den verschiedenen Reflexionen, so giebt $i = 65° \; 33'$, $i' = 37° \; 53'$; $\alpha = 45°$, $\alpha' = 14° \; 42'$, $\alpha'' = 3° \; 57'$, $\alpha''' = 1° \; 2'$, und $i = 46° \; 30'$; $i' = 29° \; 18'$, $\alpha = 45°$ giebt $\alpha' = 14° \; 53'$, $\alpha'' = 3° \; 47'$, $\alpha''' = 0° \; 58'$. Also gaben die Beobachtungen schon eine so gut wie vollkommene Polarisation, obgleich die Polarisations-Ebene bei zwei Zurückwerfungen noch in $\pm 1° \; 50'$ oder $\pm 1° \; 22'$, bei drei Zurückwerfungen in $\pm 1°$ lagen.

Für natürliches Licht sollte man freilich etwas anders rechnen, aber das Resultat stimmt mit demjenigen, was man für zwei in $\pm 45°$ polarisirte Strahlen findet, überein.

43. Auch Fresnel's Formel für die Intensität des reflectirten Strahls, die für jeden Einfallswinkel und jede Neigung der Polarisations-Ebene gegen die Zurückwerfungs-Ebene $= \alpha$ gilt, nämlich:

$$I = \left(\frac{\text{Sin.}\,(i - i')}{\text{Sin.}\,(i + i')}\;\text{Cos.}\;\alpha\right)^2 + \left(\frac{\text{Tang.}\,(i - i')}{\text{Tang.}\,(i + i')}\;\text{Sin.}\;\alpha\right)^2,$$

findet hier Anwendung.

Diese Formel giebt folgende Resultate für einige Hauptfälle.

Digitized by Google

1. Wenn i der Polarisationswinkel ist, also $i + i' = 90^\circ$, so verschwindet der letzte Theil der Formel, und da für $\alpha = 0$ $I = (\text{Sin.}(i - i'))^2$ ist, so ist dieses die Intensität des in der Polarisations-Ebene zurückgeworfenen Lichts und $I = 0$ die Intensität des Lichts in einer auf die Polarisations-Ebene senkrechten Zurückwerfungs-Ebene. 2. Den Fall, wenn i sehr klein ist, haben wir schon oben betrachtet und

$$I = \left(\frac{i - i'}{i + i'}\right)^2 = \left(\frac{1 - \mu}{1 + \mu}\right)^2 \text{ gefunden.}$$

3. Könnte man nun das natürliche Licht als gemischt aus zwei Arten polarisirten Lichts, nämlich in $+45^\circ$ und -45° polarisirt ansehn, so würde man die Intensität des reflectirten Lichts

$$= \tfrac{1}{2}\left(\frac{\text{Sin.}(i - i')}{\text{Sin.}(i + i')}\right)^2 + \tfrac{1}{2}\left(\frac{\text{Tang.}(i - i')}{\text{Tang.}(i + i')}\right)^2$$

erhalten. Nähme man das Licht als aus zwei Theilen, jeden $= \frac{1}{2}$, bestehend und den einen in 0°, den andern in 90° polarisirt an, so erhielte man dasselbe. Wenn man endlich das Licht als aus zwei Theilen, jeden $= \frac{1}{2}$, bestehend und den einen in α, den andern in $90^\circ - \alpha$ polarisirt ansieht, so giebt die Verbindung beider denselben Ausdruck für die Intensität des reflectirten Lichts, so daſs dieser als die wahre Bestimmung des unter irgend einem Winkel reflectirten natürlichen, aus allen Arten polarisirten gemischten, Lichts angesehn werden kann.

44. Hieran läſst sich die Beantwortung der Frage knüpfen, wie sich bei mehreren Reflexionen ein Lichtstrahl aus allen Arten polarisirten Lichts gemischt verhalten wird. Ich will bei dem einen Falle stehn bleiben, in welchem, wie es bei Brewster's neueren Versuchen statt fand, ein unter 61° 3′ einfallender Lichtstrahl nach zwei Reflexionen als ganz polarisirt erschien. Das hier gebrauchte Glas gab 56° 45′ als Polarisationswinkel, $i = 61^\circ\ 3'$ giebt daher $i' = 35^\circ\ 0',5$. Nimmt man nun den unpolarisirten Lichtstrahl so an, als ob er halb in $+45^\circ$, halb in -45° polarisirt wäre, so ist der einmal reflectirte Strahl in $\pm 6^\circ\ 42'$, der zweimal reflectirte in $\pm 0^\circ\ 47'$ polarisirt. Die ganze Intensität des einmal reflectirten Strahls ist $= 0{,}0988018$, des zweimal reflectirten Strahls $= 0{,}0189993$, und wenn dieser durch einen Doppelspath geht, dessen Hauptschnitt in der Reflexions-Ebene liegt, so ist sein nicht in der Reflexions-Ebene

Digitized by Google

polarisirter Theil oder sein ungewöhnlich gebrochener Theil $= 0{,}0189993 . (\text{Sin. } 0^\circ 47')^2 = 0{,}0000036$[1]. Wäre der zweimal zurückgeworfene Strahl von einer dritten Spiegelfläche unter dem Polarisationswinkel und so aufgefangen, daſs die dritte Reflexions-Ebene senkrecht gegen die vorigen wäre, so erhielte man das reflectirte Licht noch schwächer. Es erhellt also leicht, daſs ein solcher Strahl als vollkommen polarisirt oder als im Kalkspath gar kein ungewöhnliches Bild mehr gebend erscheinen wird, obgleich in völliger Strenge noch ein sehr schwacher Unterschied in Vergleichung gegen polarisirtes Licht übrig bleibt. Aber diese Ueberlegungen zeigen auch, daſs der Versuch mit einem zweiten Kalkspath, dessen Hauptschnitt in der Reflexions-Ebene liegt, über die physische Veränderung nicht entscheidet, die der Strahl schon bei der ersten Reflexion erlitten hat. Denn wenn die Polarisations-Ebenen in $\pm\, 6^\circ 42'$ liegen und die Intensität des Lichts nach *einer* Reflexion $= 0{,}0988$ ist, so giebt der Kalkspath einen in der Reflexions-Ebene polarisirten Strahl $= 0{,}0988 . (\text{Cos. } 6^\circ 42')^2 = 0{,}09745$ und einen senkrecht auf diese Ebene polarisirten Strahl $= 0{,}0988 . (\text{Sin. } 6^\circ 42')^2 = 0{,}001345$, gerade so wie er ihn geben würde, wenn die Lichtmenge $= 0{,}09611$ vollkommen polarisirt und $= 0{,}00269$ vollkommen unpolarisirt gewesen wäre.

45. Es scheint also hieraus das entschiedene, mit Fresnel's Theorie vollkommen übereinstimmende Resultat hervorzugehn, daſs jeder reflectirte Strahl, wenn er nicht senkrecht aufgefallen ist, eine Veränderung seiner natürlichen Beschaffenheit erlitten hat, daſs nämlich, wenn wir uns im natürlichen Strahle gleichsam alle Arten von Polarisationen vereinigt denken, diese Polarisationen in der Zurückwerfung eine Aenderung erlitten haben. Will man in Brewster's Ausdrücken reden, so würde man sagen, die Lichttheilchen haben Ebenen, von deren Lage die Polarisation abhängt; im natürlichen Strahle haben diese Ebenen der nach einander antreffenden Lichttheilchen alle möglichen Lagen und bei der Reflexion ändern alle diese Ebenen ihre Lage, indem nur diejenigen Lagen allein ungeändert bleiben, deren Ebenen in der Reflexions-Ebene liegen oder senk-

1 Ich weiſs nicht, wie Brewster hier 0,00037 erhält, glaube aber in meiner Rechnung mich nicht zu irren.

Digitized by Google

recht gegen dieselbe. Zum Beispiel bei 70° Einfallswinkel geht, wenn der Polarisationswinkel = 56° 45′ ist,

$$\alpha = 85° \quad \text{in} \quad \alpha' = 76° \; 31',$$
$$\alpha = 80° \quad \text{in} \quad \alpha' = 64° \; 12',$$
$$\alpha = 60° \quad \text{in} \quad \alpha' = 32° \; 18',$$
$$\alpha = 40° \quad \text{in} \quad \alpha' = 17° \; 1',$$
$$\alpha = 20° \quad \text{in} \quad \alpha' = 7° \; 34'$$

über und die Hälfte des einfallenden Lichts hat also eine Polarisation angenommen, die weniger als 20° von der Reflexions-Ebene entfernt ist, und nur etwa der achtzehnte Theil des einfallenden Lichts hat, so fern er reflectirt wird, jene Ebenen zwischen 90° und 76°,5. Aber unter den Theilchen, deren Ebenen in 90° lagen, werden, wenn ihre Menge = I war, nur 0,04128. I reflectirt, von denen, deren Ebenen in 85° lagen, nur 0,04096. I, also reducirt sich jenes Achtzehntel ungefähr auf $\frac{1}{18} \cdot 0{,}0411 = 0{,}0023$, etwa auf $\frac{1}{500}$ des ganzen Lichts, wogegen die in 0° bis 10° polarisirt einfallenden Theilchen ungefähr in dem Verhältniſs 0,3060 reflectirt werden. Nennt man also (I) die gesammte einfallende Lichtmenge, $\frac{1}{3}$ (I) die, deren Polarisations-Ebenen zwischen 0° und 30° lagen, $\frac{1}{18}$ (I) die, deren Polarisations-Ebenen zwischen 85° und 90° lagen, so finden sich von jenen, die nach der Reflexion fast alle auf 0° bis 10° zurückgekommen sind, 0,102. (I) in dem reflectirten Strahle, von den andern nur 0,0023. (I). Es wird nicht nöthig seyn, die Rechnung weiter fortzuführen, da hieraus schon erhellt, in welchem Maſse die Polarisation derjenigen näher gekommen ist, die wir, als mit der Reflexions-Ebene übereinstimmend, vollkommene Polarisation nennen würden. Uebrigens lieſsen sich die Ausdrücke leicht völlig in die Sprache der Undulationstheorie, wo es auf die Richtung der Quervibrationen ankommt, übersetzen, wobei ich um so weniger zu verweilen nöthig finde, da nr. 37 und 38 hierüber vollständige Auskunft geben.

46. Die Gesetze der Polarisation bei zurückgeworfenen Strahlen, die schon vorher polarisirt waren, gehn hieraus und aus den Formeln Fresnel's von selbst hervor. Ist der Einfallswinkel dem Polarisationswinkel gleich, so wird jeder, auch der polarisirt einfallende Strahl, als in der Reflexions-Ebene polarisirt zurückgeworfen, und zwar mit desto geringerer Intensität, je mehr seine vorige Polarisations-Ebene sich dem rechten Winkel mit der Reflexions-Ebene nähert. Also ist bei un-

Digitized by Google

serm Polarisations-Instrumente das aus dem zweiten Spiegel hervorgehende Licht immer und bei jeder Drehungsstellung ganz in der Reflexions-Ebene polarisirt, wenn dieser zweite Spiegel auf den Polarisationswinkel gestellt ist. Bei der Stellung auf einen andern Winkel würde man den neuen Polarisationswinkel ebenso wie vorhin berechnen und also in allen Fällen bei völlig polarisirtem Lichte sowohl, als da, wo nach Brewster's Ansicht der Strahl aus Portionen, die in verschiedenen Ebenen polarisirt sind, besteht, alle Fragen beantworten können.

Eine wiederholte und genaue Untersuchung über die noch so wenig mit photometrischen Mitteln untersuchte Intensität des Lichts würde hier wohl noch manche Belehrung gewähren können[1].

47. Ich gehe nun zu den Veränderungen über, welche die Polarisation durch Brechung der Strahlen erleidet. Man hat meistens angenommen, wenn das Licht unter irgend einem Winkel geneigt auf eine Glasplatte auffalle, so enthalte das durchgelassene Licht ebensoviel polarisirtes Licht, als das zurückgeworfene, in jenem aber sey die Polarisirungs-Ebene senkrecht gegen die Reflexions-Ebene, statt daſs sie in diesem mit derselben übereinstimmt.

Arago glaubte diese Gleichheit durch folgenden Versuch, den aber Brewster wohl mit groſsem Rechte für ungenügend erklärt, dargethan zu haben. Wenn man eine Glastafel DE so Fig. 91.
aufstellt, daſs man in O das gleichförmig weiſse und gleichförmig erleuchtete Papier AB sowohl durch den von A ausgehenden zurückgeworfenen Strahl ACO, als durch den durchgehenden Strahl BCO in der Richtung OC erblickt, so läſst sich auf folgende Weise über die Intensität des in beiden Strahlen vorhandenen polarisirten Lichts urtheilen. Man stelle in P eine Blendung mit einer engen Oeffnung auf und in Q einen Doppelspath, so zeigt sich dem Auge O ein doppeltes Bild der Oeffnung, und dieses doppelte Bild wird ungleich an Helligkeit seyn, wenn sich in dem durch P gehenden Lichtstrahle eine

1 Unter den mannigfaltigen Anwendungen, zu welchen diese hier und in den nächsten Betrachtungen angeführten Formeln führen, verdient eine höchst merkwürdige, die Airy auf die Newton'schen Farbenringe macht, wegen ihrer auffallenden Uebereinstimmung mit der Erfahrung alle Aufmerksamkeit. Phil. Magaz. Jan. 1833. 20.

Beimiſchung polariſirten Lichtes befindet. Läſst man nun zuerſt, indem man BC durch einen zwiſchengeſetzten Schirm unterbricht, bloſs den reflectirten Strahl zum Auge kommen, ſo enthält dieſer (nach der gewöhnlichen Annahme) eine Menge $= a$ in der Reflexions-Ebene polariſirtes und eine Menge $= b$ natürliches Licht; ſteht der Doppelſpath ſo, daſs ſein Hauptſchnitt mit der Reflexions- und Brechungs-Ebene zuſammenfällt, ſo enthält das in O geſehene ungewöhnliche Bild die Lichtmenge $= \frac{1}{2} b$, das gewöhnliche $a + \frac{1}{2} b$. Und ebenſo, wenn man in AC den Schirm aufſtellt, alſo bloſs durchgelaſſenes Licht empfängt, ſo iſt eine gewiſſe Lichtmenge $= a'$ polariſirt in einer gegen die vorige Polariſations-Ebene ſenkrechten Ebene, eine Lichtmenge $= b'$ unpolariſirt, und der in O ankommende Strahl beſteht aus einem ungewöhnlich gebrochenen $= a' + \frac{1}{2} b'$ und aus einem gewöhnlich gebrochenen $= \frac{1}{2} b'$. Kommen alſo, indem man den Schirm ganz wegläſst, beide Strahlen gemiſcht zum Auge, ſo enthält das gewöhnliche Bild die Lichtmenge $= a + \frac{1}{2}(b + b')$, das ungewöhnliche Bild die Lichtmenge $= a' + \frac{1}{2}(b + b')$, und Arago glaubte zu finden, daſs dieſe beiden Lichtmengen bei jedem Einfallswinkel gleich erſchienen, woraus dann allerdings $a = a'$ folgen oder die beiden entgegengeſetzt polariſirten Lichtmengen ſich als gleich ergeben würden.

Brewster, mit deſſen Verſuchen die Vorausſetzung eines aus völlig polariſirtem und aus völlig unpolariſirtem Lichte beſtehenden Strahls unvereinbar iſt, macht gegen dieſen Verſuch folgende Einwendungen: erſtlich, daſs die bloſse ſcheinbare Gleichheit beider Bilder keine groſse Sicherheit über die wirkliche Gleichheit gewähre, alſo der Verſuch doch nur als eine oberflächliche Schätzung anzuſehn ſey, und zweitens, daſs Arago nicht daran gedacht habe, daſs weder der eine noch der andre Lichtſtrahl ganz rein das ſey, was er ſeyn ſollte, indem mit dem reflectirten Strahle ſich ein an der erſten Oberfläche gebrochenes und an der zweiten reflectirtes Licht und ſelbſt Licht, das mehrere Reflexionen erlitten hat, miſche und mit dem durchgelaſſenen Strahle ſich gleichfalls ſolches miſche, das zwei Reflexionen im Innern des Glaſes erlitten habe. Ueber die Einwirkung dieſer Miſchung werde ich noch mehr ſagen müſſen, aber ſchon hier ſcheint mir zu erhellen, daſs man jene

Gleichheit nicht als durch diesen Versuch streng erwiesen anſehn könne.

48. Brewster hatte schon früher auch von den durchgelassenen Strahlen angenommen, daſs sie nicht aus einem Antheile vollkommen polarisirten Lichts und einem Antheile ganz unveränderten Lichts beständen; aber allerdings waren seine frühern Beweise hierfür nicht ganz entscheidend und gaben daher Herschel Veranlassung, sich *gegen* ihn und *für* jene Ansicht, als die einfachere, zu erklären; seine neueren Versuche scheinen dagegen den Gegenstand in ein neues und vollkommneres Licht zu setzen[1]. Er bediente sich bei diesen Versuchen einer Glasplatte, deren beide Oberflächen zwar wenig, aber doch soviel vom Parallelismus abwichen, daſs die durch Reflexion an der innern Seite der Oberflächen hervorgehenden Strahlen nicht mit dem geradezu durchgegangenen Strahle vermischt wurden. Auf diese Platte, welche auf einem getheilten Kreise lag, fielen zwei in einem Doppelspathe in $+45°$ und in $-45°$ gegen die Refractions-Ebene polarisirte Lichtstrahlen, und es wurde nun (auf ähnliche Weise, wie bei der Zurückwerfung, wenn gleich Brewster nur andeutet, daſs er sich eines zweiten Doppelspaths bedient habe) gefunden, erstlich daſs bei senkrecht einfallenden Strahlen die Polarisations-Ebenen ungeändert blieben, also für den Einfallswinkel $i = 0$; zweitens daſs bei $i = 30°$ jene Winkel in $\pm 45° \, 40'$ übergegangen sind; drittens bei $i = 60°$ in $\pm 50° \, 7'$; viertens bei $i = 90°$ oder bei sehr flach einfallenden Strahlen in $66° \, 19'$. Hiernach erleiden also die Lichtstrahlen eine wahre physische Veränderung, indem die vor dem Durchgange unter $90°$ gegen einander geneigten Polarisations-Ebenen nach dem Durchgange desto gröſsere Winkel mit einander machen, je schiefer der Strahl einfiel. Diese Drehung der Polarisations-Ebenen ist schwächer bei schwach brechenden, stärker bei stark brechenden Körpern, zum Beispiel für $i = 85°$ im Wasser nur $= 9° \, 17'$, also die Polarisirungs-Ebenen zu der Richtung $54° \, 17'$ gelangt; im Tafelglase bei $i = 80°$ ist diese Richtung $= 58° \, 42'$; in einem stark brechenden Metallglase bei $i = 80°$ ist sie $62° \, 32'$.

49. Bei diesem Versuche fand die Einwirkung beider Oberflächen des brechenden Körpers statt. Um dagegen nur *eine*

1 Ph. Tr. 1830. 133. und Poggend. XIX. 231.

Digitized by Google

Oberfläche einwirken zu laſsen, bediente Brewster sich eines Prisma's, auf deſsen eine Seite der Lichtstrahl senkrecht auf-fiel, also, da hierdurch gar keine Aenderung in der Polarisation bewirkt wird, bloſs der Durchgang durch *eine* Oberfläche in Betrachtung kam; und so ſand sich, daſs die Polarisations-Ebenen aus ± 45° übergingen in ± 45° 22′, wenn der Einfallswinkel 32° 20′ war, in 47° 25′ bei dem Einfallswinkel = 54° 50′, in 54° 15′ bei dem Einfallswinkel = 87° 38′.

Im Allgemeinen stimmt die Formel Cotang. α' = Cos. (i—i′) mit den Versuchen überein, wenn vor dem Durchgange die Polarisations-Ebene um 45° gegen die Refractions-Ebene geneigt war und α' eben diese Neigung nach dem Durchgange angiebt, i und i′ aber die Bedeutung wie in Nr. 41 haben. War diese Neigung vor dem Durchgange nicht = 45°, sondern = α, so ist

$$\text{Cotang. } \alpha' = \text{Cotang. } \alpha .\ \text{Cos. } (i - i')$$

die allgemein geltende Formel. An der zweiten Oberfläche gilt dieselbe Formel, aber der Werth von α ist dann so zu nehmen, wie die erste Fläche ihn hervorgebracht hat, das ist bei Strahlen, die in 45° polarisirt eintrafen, so, daſs

$$\text{Cotang. } \alpha = \text{Cos. } (i - i'), \text{ also}$$
$$\text{Cotang. } \alpha' = (\text{Cos. } (i - i'))^2.$$

Das gäbe also für eine Platte, wo beide Seiten parallel sind, wenn der Einfallswinkel i = 80°, i′ = 40° 13′ war und die Polarisations-Ebene in 45° vor dem Eintreten, daſs sie in 52° 28′ im Innern der Platte, in 59° 28′ nach dem Durchgange gekommen seyn muſste [1]. Wie man bei dem Durchgange durch mehrere Platten rechnen muſs, ergiebt sich nun leicht. Es erhellt auch, daſs die absolut strenge Polarisation nach diesen Formeln nie, selbst nach dem Durchgange durch zahlreiche parallele Platten eintreten wird, daſs aber die Neigung der Polarisations-Ebene gegen die Refractions-Ebene dem rechten Winkel so nahe kommt, daſs die Abweichung von der vollkommenen Polarisation nicht mehr merklich ist.

50. Aus diesen Versuchen und Folgerungen, die mir sehr wohl begründet scheinen, geht nun auch hervor, daſs die Frage, ob der polarisirte Antheil im reflectirten Strahle ebenso groſs als der entgegengesetzt polarisirte Antheil im gebrochenen Strahle sey,

1 Brewster hat für ein anderes Brechungsverhältniſs gerechnet, ich habe μ = Cotang. 56° 45′ beibehalten.

ihre eigentliche Bedeutung verliert, indem von einer strengen Unterscheidung der polarisirten und unpolarisirten Theile nicht mehr die Rede ist. Gleichwohl sucht Brewster die Menge des anscheinend polarisirten Lichts, das heiſst, die Intensität desjenigen Lichts, das im Durchgange durch den mit seinem Hauptschnitte in der Reflexions-Ebene oder Refractions-Ebene aufgestellten Doppelspath sich als anscheinend polarisirt zeigt, zu bestimmen.

Wenn R die ganze reflectirte Lichtmenge ist und diese wäre in einer Richtung und unter dem Winkel $= \alpha'$ gegen den Hauptschnitt des Krystalls geneigt polarisirt, so wird die Lichtmenge $= R \,\mathrm{Cos.}^2 \alpha'$ gewöhnlich und $R \,\mathrm{Sin.}^2 \alpha'$ ungewöhnlich gebrochen; es ist also so, als ob $R\,(\mathrm{Cos.}^2 \alpha' - \mathrm{Sin.}^2 \alpha')$ polarisirt gewesen wäre und zu dieser, nun ganz der gewöhnlichen Brechung folgenden Menge noch die halbe unpolarisirte Lichtmenge $= R.\,\mathrm{Sin.}^2 \alpha'$, der ungewöhnlich gebrochenen gleich, käme. Ist also ein Lichtstrahl aus gewöhnlichem Lichte anzusehn, als ob er aus einem in $\pm 45^0$ polarisirten Lichte bestände, so ist nach dem Vorigen (nr. 38)

$$R = \tfrac{1}{2}\left(\frac{\mathrm{Sin.}(i-i')}{\mathrm{Sin.}(i+i')}\right)^2 + \tfrac{1}{2}\left(\frac{\mathrm{Tang}\,(i-i')}{\mathrm{Tang.}(i+i')}\right)^2$$

$$\text{und } \mathrm{Tang}\,\alpha' = \frac{\mathrm{Cos.}(i+i')}{\mathrm{Cos.}\,(i-i')}, \text{ woraus}$$

$$\mathrm{Sin.}^2 \alpha' = \frac{\mathrm{Cos.}^2(i+i')}{\mathrm{Cos.}^2(i-i') + \mathrm{Cos.}^2(i+i')} \text{ folgt.}$$

Die durchgehende Lichtmenge ist $=(1-R)$, und von dieser ist, wenn sie in der Richtung α'' polarisirt war, im Doppelspath die Lichtmenge $= (1-R)\,\mathrm{Sin.}^2 \alpha''$ ungewöhnlich und $(1-R)\,\mathrm{Cos.}^2 \alpha''$ gewöhnlich gebrochen, so daſs $(1-R)\,(\mathrm{Sin.}^2 \alpha'' - \mathrm{Cos.}^2 \alpha'')$ als schon vor dem Eintritte in den Krystall senkrecht auf die Refractions-Ebene polarisirt erscheint. Setzt man nun für α' den eben gefundenen Werth und für α'' den aus $\mathrm{Cotang.}\,\alpha'' = \mathrm{Cos.}^2\,(i-i')$ hervorgehenden, so läſst sich zeigen, daſs die beiden eben als polarisirt bezeichneten Lichtmengen

$$= R\left\{\frac{\mathrm{Cos.}^2(i+i') - \mathrm{Cos.}^2(i-i')}{\mathrm{Cos.}^2(i+i') + \mathrm{Cos.}^2(i-i')}\right\}$$

$$=(1-R)\left\{\frac{\text{Cos.}^2(i-i')-1)}{1+\text{Cos.}^2(i-i')}\right\}$$ sind. Bringt man nämlich diese Brüche auf einerlei Nenner, so ist

$$\text{Cos.}^2(i+i').\ \text{Sin.}^2(i-i')+\text{Cos.}^2(i-i')\ \text{Sin.}^2(i-i')$$
$$=R\,[2\,\text{Cos.}^2(i-i')\ \text{Sin.}^2(i+i')],$$

also $R=\frac{1}{2}\,\frac{\text{Tang.}^2(i-i')}{\text{Tang.}^2(i+i')}+\frac{1}{2}\,\frac{\text{Sin.}^2(i-i')}{\text{Sin.}^2(i+i')}$,

welches gerade der Werth von R ist, den wir vorhin für R fanden. Hier ist für α'' der Werth gesetzt, der für den in die Platte eingedrungenen, aber noch nicht durch die zweite Oberfläche gegangnen Strahl gilt, so daſs diese Gleichheit nur statt fände, wenn der durchgehende Strahl an der zweiten Oberfläche keine neue Veränderung erlitte.

Brewster macht noch folgende Bemerkungen. 1. Das gesammte reflectirte Licht ist dem durchgelassenen gleich, wenn für $\alpha=42°$, $\alpha'+\alpha''=90°$ ist, welches bei dem von Brewster angewandten Glase für $i=82°\,4'$ der Fall war. 2. Wenn die Menge des durchgelassenen Lichts gleich der Hälfte des reflectirten ist, so hat man $(i-i')=45°$, welches bei 85° 50′ 40″ statt fand, und dann erscheint das als polarisirt durchgelassene als $=\frac{1}{3}$ des gesammten durchgelassenen Lichts. 3. Bei dem Polarisationswinkel ist $i+i'=90°$, die Menge des reflectirten und ganz polarisirten Lichts

$$=\frac{1}{2}\,\text{Sin.}^2(i-i')=\frac{1}{2}\,\text{Cos.}^2\,2i.$$

51. Wenn ein schon polarisirter Strahl auf die spiegelnde Platte auffällt, so geht seine Polarisation aus der unter α' geneigten Ebene nach der ersten Brechung in die Neigung α'', nach der zweiten Brechung in die Neigung α''' über, und wenn die Seiten der Platte parallel sind, so ist

$$\text{Cotang.}\ \alpha''=\text{Cotang.}\ \alpha'\ \text{Cos.}\,(i-i'),$$
$$\text{Cotang.}\ \alpha'''=\text{Cotang.}\ \alpha'\ \text{Cos.}^2\,(i-i').$$

Und hieraus würde man so ziemlich alle Fragen, die hier vorkommen, beantworten können, wenn man auf die durch mehrmalige Reflexion im Innern der Platte veränderten Strahlen, die sich gewöhnlich mit den durchgelassenen mischen, nicht sieht.

52. Auch über die Veränderung der Polarisation, welche bei einem an der Rückseite der Platte reflectirten Strahle eintritt, hat Brewster Versuche angestellt. Er bediente sich
Fig. 92. hiezu einer in a M ſchief abgeschnittenen dicken Glasplatte

Digitized by Google

und gab dem einfallenden Strahle RA die Richtung, daſs der gebrochene und reflectirte Strahl RACBS bei B die Oberfläche senkrecht traf, damit dort die Polarisation keine Aenderung erlitte. Fielen dann Strahlen, die in $\pm 45^\circ$ polarisirt waren, wie RA, unter 83° Einfallswinkel auf, so muſste (da Cotang. 53° sehr nahe = Cos. (83° — 42°) und hier i = 83°, i' = 42° war) der Strahl AC eine Polarisation in $\pm 53^\circ$ angenommen haben; diese veränderte sich bei der Zurückwerfung (nach nr. 41) in 45°, 25 (weil

$$\text{Tang. } 45^\circ{,}25 = \frac{\text{Tang. } 53^\circ \text{ Cos. } 125^\circ}{\text{Cos. } 41^\circ})$$

und das Licht muſste also bei seinem Hervorgehn in B fast wieder in $\pm 45^\circ$ polarisirt seyn. Dagegen, wenn der Strahl durch das angekittete Stück maM ging und also mit AP parallel hervorkam, so hatte die zweite Refraction die Polarisations-Ebene wieder in die Stellung $\pm 53^\circ$ gebracht, statt daſs der einfach zurückgeworfene Strahl seine Polarisations-Ebene in 37° hatte

$$(\text{weil Tang. } 37^\circ = \frac{\text{Tang. } 45^\circ \text{ Cos. } 125^\circ}{\text{Cos. } 41^\circ}).$$

Da für Lichtstrahlen, deren anfängliche Polarisation $\pm 45^\circ$ war, nach der ersten Brechung Cotang. $\alpha' = \text{Cos.}\ (i - i')$, nach der innern Reflexion

$$\text{Tang. } \alpha'' = \frac{\text{Tang. } \alpha' . \text{ Cos. } (i + i')}{\text{Cos. } (i - i')} = \frac{\text{Cos. } (i + i')}{\text{Cos.}^2 (i - i')}$$

und nach einer zweiten Brechung in parallelen Oberflächen Cotang. $\alpha''' = $ Cotang. α''. Cos. $(i - i')$ oder

$$\text{Cotang. } \alpha''' = \frac{\text{Cos.}^3 (i - i')}{\text{Cos. } (i + i')},$$

so wird $\alpha'' = 45^\circ$, wenn Cos. $(i + i')$ = Cos.^{2} $(i - i')$, welches für Glas ungefähr bei i = 83° statt findet, dagegen $\alpha''' = 45^\circ$ für Cos.^{3} $(i - i')$ = Cos. $(i + i')$, welches für Glas ungefähr bei i = 78°, für Wasser bei i = 80° statt findet. Im letzten Falle geht also der in $\pm 45^\circ$ polarisirt gewesene Lichtstrahl nach zwei Brechungen und einer innern Zurückwerfung in seinem vorigen Polarisationszustande hervor.

Hieraus erhellt, welche Unsicherheiten in der Beurtheilung des von einer Glasplatte reflectirten Lichts daraus entstehn, daſs sich mit dem an der ersten Oberfläche reflectirten Lichte bei dünnen Glasplatten derjenige Lichtstrahl vollkom-

Digitized by Google

men mischt, welcher an der Rückseite reflectirt wird, indem dieser eine ganz andere Polarisation erhält, als jener[1].

V. Ueber die Interferenzen polarisirter Strahlen.

53. Arago und Fresnel haben die Versuche, wo bei den Interferenzen gewöhnlicher Lichtstrahlen Farbenränder hervorgehn, mit polarisirten Lichtstrahlen angestellt und hier gefunden, daſs zwei gleich polarisirte Strahlen, die nämlich von derselben Lichtquelle ausgehend eine gleiche Polarisation erlitten haben und nach einem Wege, dessen Länge nur um sehr wenig verschieden ist, zusammentreffen, eben solche Interferenzen zeigen, wie es bei unpolarisirtem Lichte der Fall ist[2]. Gingen nämlich die von dem Brennpuncte einer Linse ausgehenden Strahlen, nachdem sie polarisirt waren, an einem schmalen, dunkeln Körper vorbei, so stellten sich in dem Schatten desselben dieselben Farbenstreifen dar, welche sich im unpolarisirten Lichte zeigen.

54. Dagegen wenn zwei Lichtstrahlen entgegengesetzt polarisirt sind, d. h. so polarisirt sind, daſs ihre Polarisations-Ebenen auf einander senkrecht stehn, so bringt das Zusammentreffen solcher Strahlen nicht die bei gewöhnlichem Lichte oder bei gleich polarisirten Strahlen vorkommenden Interferenzen hervor. Um zwei entgegengesetzt polarisirte Lichtstrahlen zu erhalten, die doch in Hinsicht der Länge der Wege und der Geschwindigkeiten, mit welchen sie dieselben durchlaufen haben, ganz gleich wären, zerschnitt Fresnel einen Doppelspath nach einer gegen die zwei parallelen natürlichen Oberflächen senkrechten Richtung und legte nun die beiden Stücke so auf einander, daſs ihre Hauptschnitte einen rechten Winkel mit einander bildeten. Es war hier für gewiſs anzunehmen, daſs das eine Stück in der Nähe der Trennungs-

1 Phil. Tr. 1830. 145. Poggend. XIX. 518. Ueber die vollkommene Zurückwerfung *aller* Lichtstrahlen an der zweiten Oberfläche eines prismatischen Körpers hat Fresnel Untersuchungen angestellt, die bei der Circularpolarisation erwähnt werden. (Nr. 124.)

2 S Art. *Interferenz* und Art. *Inflexion*; auch Art. *Licht* S. 346. und vorzüglich auch Art. *Undulationstheorie*.

Digitized by Google

fläche dieselbe Dicke hatte, wie das andre Stück, und daſs daher ein durch beide gleich dicke Stücke gehender Strahl, der in zwei Strahlen gespalten hervorging, in Hinsicht der Wege und Geschwindigkeiten als völlig compensirt anzusehn sey. War nämlich gleich beim Eintritte in das erste Stück des Doppelspaths eine Spaltung in zwei Strahlen eingetreten und hatten diese Strahlen im ersten Stücke ungleiche Wege mit ungleichen Geschwindigkeiten durchlaufen, so muſsten doch, weil der Hauptschnitt des zweiten Stücks senkrecht gegen den des ersten war, diese Ungleichheiten im zweiten Stücke auf die gerade entgegengesetzte Weise eintreten, und die zwei hervorgehenden Strahlen hatten, nach dem Hervorgehn aus dem zweiten ebenso dicken Stücke, nicht bloſs gleiche Wege, sondern diese auch in gleichen Zeiten durchlaufen, weil der im ersten Stücke gewöhnlich gebrochene Strahl im zweiten ungewöhnlich gebrochen wurde, und so umgekehrt Die beiden hervorgehenden Strahlen unterschieden sich also in nichts als in der Polarisation, die bei dem einen mit der Ebene des letzten Hauptschnitts parallel, bei dem andern auf dieselbe senkrecht war. Diese Strahlen nun gaben, wenn man sie so, wie es die Interferenzversuche fordern, auf einander einwirken lieſs, keine Farbenstreifen. Und wäre nun hier auch die Voraussetzung einer vollkommen gleichen Dicke an der Stelle des Durchgangs der Strahlen nicht streng richtig gewesen, so hätte doch eine kleine Veränderung des Einfallswinkels auf den zweiten Krystall die Compensation der Länge der Wege herstellen müssen, was aber nicht der Fall war [1].

55. Einen ähnlichen Beweis für das gänzliche Ausbleiben der Interferenz-Erscheinungen bei zwei entgegengesetzt polarisirten Strahlen gab folgender Versuch. In einer Kupferplatte befanden sich zwei sehr schmale Oeffnungen so nahe bei einander, daſs die von *einer* Quelle ausgegangnen Strahlen nach dem Durchgange mit einander zusammentreffen und die Interferenz-Erscheinungen darstellen muſsten. Wurde nun der auf diese Oeffnungen auffallende Lichtstrahl durch eine dünne Platte Gyps in zwei Strahlen, einen ungewöhnlich gebrochenen und einen gewöhnlich gebrochenen, zerlegt [2], so gingen

1 Ann. de Ch. et Ph. X. 293. 296.

2 Die übrigens bei einer sehr dünnen Platte sich dem Auge nur als ein einziger Strahl zeigen.

durch beide Oeffnungen zwei entgegengeſetzt polariſirte Strahlen. Unter dieſen vier Strahlen konnte erſtlich die Einwirkung der beiden gewöhnlich gebrochenen und ſo auch die Einwirkung der beiden ungewöhnlich gebrochenen Strahlen auf einander unterſucht werden, und da jene zwei gleiche Aenderungen erlitten hatten und eine eben ſolche Gleichheit für die letzteren zwei ſtatt fand, ſo muſsten die Farbenſtreifen ſich völlig ſo um die Mitte des Zwiſchenraums zwiſchen den Spalten darſtellen, wie bei gewöhnlichem Lichte, und dieſes fand auch wirklich ſtatt. Aber neben jenen auf die Mitte fallenden Farbenſtreifen durch die Interferenz beider Syſteme gleich polariſirter Strahlen hätten auch zweitens die entgegengeſetzt polariſirten Strahlen Farbenſtreifen, und zwar ſeitwärts liegende, hervorbringen ſollen. Dieſe Farbenſtreifen muſsten deſto mehr ſeitwärts liegen, je dicker die Gypsplatte war, indem das Zuſammentreffen gleicher Undulationen wegen der innerhalb des Gypſes erlangten ungleichen Geſchwindigkeiten nicht mehr bei durchlaufenen gleichen Wegen ſtatt finden konnte, ſondern bei deſto mehr ungleichen Wegen, je länger die mit ungleichen Geſchwindigkeiten durchlaufenen Wege waren. Dieſe ſeitwärts liegenden Farbenſtreifen zeigten ſich aber nicht, und ſelbſt dann nicht, wenn die Gypsplatte ſo dünn war, daſs ſie gewiſs nicht zu weit von der Mitte hätten erſcheinen müſſen; man durfte alſo ſchlieſsen, daſs die Einwirkung entgegengeſetzt polariſirter Strahlen auf einander keine Interferenz-Erſcheinungen bewirke. Dieſe Ueberzeugung wurde noch durch folgenden Verſuch beſtärkt. Man zerſchnitt die Gypsplatte und lieſs das eine Stück die eine Oeffnung, das andre Stück die andre Oeffnung in der Kupferſcheibe bedecken. Waren nun dieſe Stücke in einer Ebene, aber ſo gelegt, daſs das eine rechtwinklig gegen die Lage war, die es vorhin in Verbindung mit dem andern Stücke gehabt hatte, ſo war der durch das eine Stück gewöhnlich gebrochene Strahl in derſelben Richtung polariſirt, wie der durch das andre Stück ungewöhnlich gebrochene Strahl, und die beiden Strahlen, welche (wegen der gleichen Dicke) gleiche Wege mit *gleichen* Geſchwindigkeiten durchlaufen hatten, das iſt beide gewöhnlich gebrochene Strahlen, waren entgegengeſetzt polariſirt, und ebenſo beide ungewöhnlich gebrochene. Dieſe hätten wegen der Gleichheit der auf gleichen Wegen vollendeten Undulationen noch immer ihre

Interferenzen durch Farbenstreifen um die Mitte zeigen sollen, aber diese erschienen für die jetzt entgegengesetzt polarisirten Strahlen nicht; dagegen zeigten sich jetzt entfernt von der Mitte an beiden Seiten Farbenstreifen, die offenbar aus den Interferenzen der gleich polarisirten Strahlen, die in den zwei Gypsplatten ungleiche Brechungen erlitten hatten (der eine die gewöhnliche, der andre die ungewöhnliche Brechung), hervorgingen. Endlich wenn man die zwei Gypsplatten so legte, daſs sie von der natürlichen Lage, wie sie dem frühern Zusammenhängen entsprach, um 45° abwichen, so gingen drei Systeme von Farbenstreifen hervor, weil nun jeder der beiden Strahlen der rechten Seite auf beide Strahlen der linken Seite einwirkte, indem die Polarisations-Ebenen nun nicht mehr auf einander senkrecht waren.

56. Diese Versuche sind es eigentlich, welche Fresnel veranlaſsten, die Vibrationen, durch welche die Licht-Erscheinungen hervorgehn, als senkrecht gegen die Richtung des Strahls anzusehn. Diese Quervibrationen, die im gewöhnlichen Lichte in schnellem und gleichmäſsigem Wechsel nach allen auf die Richtung des Strahls senkrechten Richtungen statt finden, erfolgen im polarisirten Strahle immer nach einer gleichen, gegen die Polarisations-Ebene senkrechten Richtung, und es ist nun klar, daſs bei gleichem Gange zweier Lichtstrahlen, die zugleich in einerlei Ebene polarisirt sind, die Vibrationen beständig einander verstärken, daſs dagegen, wenn der eine dieser Strahlen dem andern um eine halbe Undulation voreilt, gerade entgegengesetzte Bewegungen zusammentreffen und diese sich also zerstören. Bei gleich polarisirten Strahlen müssen also die Interferenzen sich genau dem Unterschiede der Wege gemäſs verhalten.

Sind dagegen zwei Strahlen in Ebenen auf einander senkrecht polarisirt, so sind die Geschwindigkeiten, die demselben Puncte beider, nach einerlei Richtung fortgehender Strahlen eigen sind, auf einander senkrecht und können sich daher nie zerstören. Es entsteht nämlich bei übereinstimmenden Wegen genau dasselbe, wie bei einer Voreilung von einer halben Undulation, indem in beiden Fällen eine zusammengesetzte Vibration entsteht, deren Intensität durch die Summe der beiden Intensitäten ausgedrückt wird oder durch die Summe der Quadrate der beiden Vibrationsgeschwindigkeiten. Sind die

Digitized by Google

Wege nicht um halbe Undulationen, sondern um Brüche von halben Undulationen verschieden, so ändert sich im Vorbeigehn einer Undulation das Verhältniſs der beiden Geschwindigkeiten, das Licht bleibt nicht mehr polarisirt, sondern die Richtung der aus Zusammensetzung hervorgehenden Vibration wird verschieden während des Vorüberganges einer Undulationsperiode; die daraus entstehende Kreis-Vibration giebt ebenso wenig zu einer vom Unterschiede der Wege abhängenden Verschiedenheit der Intensität Anlaſs [1].

57. Zu diesen Bestimmungen, welche das wichtigste Gesetz betreffen, haben Fresnel und Arago noch eine Reihe anderer Untersuchungen hinzugefügt. Der gleich zu erzählende Versuch führt zu folgendem Gesetze, das unerwartet scheint: Sind zwei Strahlen ursprünglich in entgegengesetztem Sinne polarisirt, so können sie auf einerlei Polarisations-Ebene zurückgeführt werden, ohne dadurch fähig zu werden, einen Einfluſs auf einander auszuüben. Der Beweis dafür beruht auf einem Versuche mit zwei aus funfzehn dünnen Glimmerplatten gebildeten Säulen, die durch Zerschneiden einer einzigen solchen Säule entstanden waren. Diese beiden Säulen polarisirten das durchgelassene Licht fast vollkommen bei einem Einfallswinkel von 60° und sie wurden vor die zwei Spalten in der Kupferplatte so gestellt, daſs die Strahlen in dieser Richtung durchgingen, zugleich aber die Brechungs-Ebenen auf einander senkrecht waren. Da die hervorgehenden Strahlen in einer gegen die Brechungs-Ebene senkrechten Ebene polarisirt sind, so erhielt man auf diese Weise einen durch die eine Oeffnung gehenden Strahl, dessen Polarisation senkrecht gegen die Polarisation des durch die andere Oeffnung gehenden Strahls war. Hielt man nun einen doppelt brechenden Krystall vor das Auge, gab seinem Hauptschnitte eine Neigung von 45° gegen jene Polarisations-Ebenen und lieſs jene zwei Strahlen durch ihn zum Auge gelangen, so kamen vier Strahlen von gleicher Intensität zum Auge, deren zwei in der Ebene des Hauptschnitts, zwei senkrecht auf denselben polarisirt waren. Hier hätte man nun erwarten sollen, daſs der gewöhnlich gebrochene Strahl der Oeffnung links und der gewöhnlich ge-

1 Vergl. Ann. d. Ch. et Ph. XVII. 88. Poggend. XXIII. 383. 393. 394.

Digitized by Google

brochene Strahl der Oeffnung rechts Farbenstreifen mit einander hervorbringen würden und ebenso beide ungewöhnlich gebrochene Strahlen; aber dieses erfolgte nicht und das gegenseitige Einwirken gleich polarisirter Strahlen auf einander brachte also hier keine Interferenz-Erscheinungen hervor. Herschel macht in einem seiner Abhandlung am Schlusse beigefügten Zusatze[1] die Bemerkung, daſs das hier aufgestellte Gesetz, wenn es in seinem ganzen Umfange angenommen würde, die Grundprincipien der Lehre von den Interferenzen umzustürzen scheine; ich weiſs aber nicht, ob er bei dieser Aeuſserung sich an Fresnel's in einer andern Abhandlung gegebene Erörterung erinnert hat[2]. Hier sagt Fresnel nämlich, man solle eigentlich nicht behaupten, daſs die Strahlen gar keine Wirkung auf einander ausüben, sondern vielmehr, daſs die aus den verschiedenen Wellensystemen hervorgehenden Wirkungen sich compensiren, weil bei dem einen Strahle eine halbe Undulation zugelegt werden muſs[3].

58. Es ist, fügen Fresnel und Arago hinzu, wenn zwei entgegengesetzt polarisirte und nachher auf gleiche Polarisation zurückgeführte Strahlen auf einander einwirken sollen, nothwendig, daſs sie primitiv von einem in derselben Polarisations-Ebene polarisirten Strahle ausgegangen sind, wie dieses in dem folgenden Versuche statt fand. Man läſst einen polarisirten Strahl senkrecht auf eine mit der Axe parallel geschnittene Gypsplatte fallen, die mit einem zwei Oeffnungen darbietenden Kupferplättchen bedeckt ist. Der Gypsplatte giebt man die Stellung, daſs ihr Hauptschnitt um 45° geneigt gegen die Polarisations-Ebene des Strahls ist, und nun läſst man den hervorgehenden Strahl durch einen vor das Auge gehaltenen Kalkspath zum Auge, das mit einer convexen Linse bewaffnet ist[4], gelangen, giebt aber dem Kalkspathe eine solche Stellung, daſs seine Axe 45° mit der Axe des Gypsblättchens macht. Hier zeigen sich nun in jedem der beiden durch den

---

1 zu §. 959.

2 Ann. de Ch. et Ph. XVII. 104. Mém. de l'Acad. roy. VII. und Poggend. XXIII. 393.

3 Da in der Folge (nr. 68. 69.) der Grund für dieses Zulegen einer halben Undulation vorkommt, so übergehe ich ihn hier.

4 Vergl. Art. *Inflexion* S. 714.

Digitized by Google

Doppelspath erheblich von einander getrennten Bilder drei Systeme von Farbenstreifen, deren eines der Mitte des Schattens (der Mitte des zwischen beiden Oeffnungen liegenden Theils der Kupferplatte) entspricht, die beiden andern aber sich an beiden Seiten befinden.

Die Entstehung dieser Streifen läſst sich im gewöhnlichen Bilde auf folgende Weise erklären und die Entstehung im ungewöhnlichen Bilde ist dann auch leicht zu verstehn. Durch beide Oeffnungen gehn gleich polarisirte Strahlen, deren jeder durch die Gypsplatte in zwei entgegengesetzt polarisirte zerlegt wird, aber wegen der geringen Dicke der Platte so, daſs ihre Wege gleich und nur ihre Geschwindigkeiten verschieden sind. Jeder der zwei Strahlen, welche hiernach der einen Oeffnung angehören, wird durch den Kalkspath aufs neue gespalten und stellt zwei gewöhnlich gebrochene und zwei ungewöhnlich gebrochene Strahlen dar, die jedoch dem Auge nur als zwei kenntlich sind, weil die zwei aus der Gypsplatte hervorgehenden so nahe an einander liegen, daſs ihre im Doppelspath gewöhnlich gebrochenen Theile zusammenfallen und ebenso die ungewöhnlich gebrochenen. Nach der vorausgesetzten Stellung des Doppelspaths, dessen Hauptschnitt um 45° geneigt gegen die beiden Polarisations-Ebenen der aus dem Gyps hervorgehenden Strahlen seyn sollte, enthält (indem wir bloſs von *einer* Oeffnung reden) der im Kalkspath gewöhnlich gebrochene Strahl die Hälfte jedes der beiden aus dem Gyps hervorgehenden Strahlen, oder er besteht aus einem Antheile, der in beiden Körpern gewöhnlich gebrochen, und aus einem gleichen Antheile, der im ersten Körper ungewöhnlich und im zweiten gewöhnlich gebrochen ist. Die Betrachtung für die ungewöhnlich gebrochen zum Auge gelangenden Strahlen derselben Oeffnung und für die Strahlen der andern Oeffnung wird ebenso angestellt. Es ist offenbar, daſs die durch die erste und durch die zweite Spalte gehenden und in beiden Körpern gewöhnlich gebrochenen Strahlen gleiche Wege mit gleichen Geschwindigkeiten durchlaufen und daher die Interferenz-Erscheinungen in der Mitte des zwischen den Oeffnungen liegenden Schattens hervorbringen müssen und daſs auch die durch beide Oeffnunnungen gehenden und in beiden Körpern ungewöhnlich gebrochenen Strahlen eben solche Farben in der Mitte geben müssen. Das in der Mitte beobachtete System von Farben-

ſtreifen entſteht alſo durch dieſe ſich mit einander vereinigenden Einwirkungen der beiden ebengenannten Paare von Strahlen. Betrachten wir jetzt den aus der einen Oeffnung zum Auge gelangenden, zwar im letzten Kryſtalle gewöhnlich gebrochenen Strahl, der aber in der Gypsplatte die ungewöhnliche Brechung erlitten hatte, ſo hat dieſer zwar gleiche Wege mit dem immer gewöhnlich gebrochenen durchlaufen, aber mit einer innerhalb der Gypsplatte etwas verſchiedenen Geſchwindigkeit. Die in dieſer Hinſicht ungleichen aus beiden Oeffnungen ausgegangenen Strahlen können daher nicht in der Mitte des Schattens mit gleichen Phaſen der Undulationen zuſammentreffen, ſondern der mit etwas langſamerer Bewegung in der Gypsplatte ein wenig zurückgebliebene, ungewöhnlich gebrochene Strahl bedarf eines etwas kürzern Wegs, um mit dem andern in gleichen Phaſen zuſammenzutreffen, und ſo entſtehn Farbenſtreifen an der einen Seite. Daſs daſſelbe an der andern Seite durch den dort ungewöhnlich und nachher gewöhnlich gebrochenen Strahl eintritt, weil er mit dem immer gewöhnlich gebrochenen Strahle der erſten Seite zuſammentrifft, iſt einleuchtend. Bei den Strahlen, welche zuletzt ungewöhnlich gebrochen hervorgehn, laſſen ſich dieſelben Schlüſſe anwenden.

Hier alſo iſt es richtig, daſs da, wo die nach dem Durchgange durch die Gypsplatte entgegengeſetzt polariſirten Strahlen ihren Urſprung einem primitiv gleich polariſirten Strahle verdanken, ſie nach der Zurückführung auf eine gleiche Polariſation zum Interferiren fähig ſind[1].

59. Zu dieſen Geſetzen kommt endlich noch das, welches das Verlorengehn einer halben Undulation in gewiſſen Fällen beſtimmt. Arago und Fresnel wiederholten den vorigen Verſuch mit der Abänderung, daſs ſie ſtatt des hinreichend dicken Kalkſpaths ein zweites dünnes Gypsblättchen anwandten. In dieſem Falle gingen keine zwei getrennten Bilder hervor, ſondern dieſe waren einander bis zum Zuſammenfallen nahe gerückt, und man hätte nun erwarten ſollen, daſs die drei Syſteme von Farbenſtreifen in *jedem* der beiden Bilder jetzt nothwendig drei Syſteme von Farbenſtreifen in dem *einzigen* Bilde ergeben würden; aber es zeigt ſich bloſs

1 Ann. de Ch. et Ph. X. 303.

das mittlere dieser drei Systeme. Dieses läſst sich nur dadurch erklären, daſs man annimmt, es gehe im einen oder andern Falle eine halbe Undulation verloren für die beiden auf einander fallenden, an derselben Seite liegenden Systeme. Ist nämlich in Beziehung auf das rechts liegende System der Farbenränder des gewöhnlich gebrochen aus dem dickeren Krystalle hervorgehenden Strahls die Undulationsphase genau um eine halbe Undulation vor der Phase voraus, die bei gleichen Wegen den Strahlen zukommt, welche im ungewöhnlich hervorgehenden Strahle die Farbenränder rechts bilden, so müssen ja beim Zusammenfallen dieser Ränder, weil Strahlen in immerfort entgegengesetzten Phasen zusammentreffen, alle hier sonst wahrzunehmende Interferenz-Erscheinungen aufhören.

Wir werden von diesem Gesetze in der Folge bei den durch Depolarisirung entstehenden Farbenringen Gebrauch machen müssen und die Ursache dieses Verlorengehens einer halben Undulation noch näher kennen lernen. Alle diese Untersuchungen scheinen bis jetzt einzig von Arago und Fresnel angestellt worden zu seyn, und je schwieriger es ist, diese Versuche so anzustellen, daſs sie völlige Ueberzeugung gewähren, desto mehr wäre es zu wünschen, daſs sie von andern wiederholt würden. Indeſs finden die angegebenen Gesetze mehrere indirecte Bestätigungen in den noch ferner anzuführenden Erscheinungen.

VI. Farben-Erscheinungen durch Depolarisation des Lichts in dünnen krystallisirten Körpern.

60. Aus zahlreichen frühern Versuchen war es bekannt, daſs ein polarisirter Strahl depolarisirt werde, wenn er durch einen doppelt brechenden Körper geht, dessen Hauptschnitt weder mit der Ebene, in welcher der Strahl polarisirt war, parallel, noch auf dieselbe senkrecht ist. Diese Depolarisirung zeigt sich, wenn man den polarisirten Strahl auf eine so gestellte Turmalinplatte, daſs er nicht durchging, hat auffallen lassen und ihn dann, ehe er die Turmalinplatte erreicht, durch einen Doppelspath gehn läſst; der Gegenstand, von dem der polarisirte Strahl ausging, war dem durch den

Digitized by Google

Turmalin blickenden Auge unsichtbar gewesen, und tritt deutlich hervor, wenn der Doppelspath in einer schiefen Stellung seines Hauptschnitts gegen die Polarisations-Ebene den Strahl auffängt, ehe er den Turmalin erreichte. Ebenso zeigt sich das Bild in dem Spiegel, welcher den polarisirten Strahl nicht zurückwarf, auch das zweite Bild in einem doppelt brechenden Körper zeigt sich wieder, wenn ein Doppelspath oder ein anderer doppelt brechender Körper den Strahl depolarisirte, und diese anscheinende Depolarisirung besteht darin, daſs der Lichtstrahl zwar seine vorige Polarisation verliert, dagegen aber von dem doppelt brechenden Körper in zwei anders polarisirte Strahlen gespalten wird.

Aber so leicht diese Erscheinungen sich erklären lassen, so schien doch Arago's Entdeckung, daſs diese Depolarisirung unter gewissen Umständen *farbige* Bilder gebe, gänzlich unerwartet. Arago bemerkte[1] nämlich, wenn ein polarisirter Lichtstrahl durch einen Doppelspath, dessen Hauptschnitt der Polarisations-Ebene parallel war, zum Auge gelangte, daſs nicht bloſs zwei Bilder wieder sichtbar werden, wenn ein Glimmerblättchen den polarisirten Strahl auffängt, sondern daſs auch diese beiden Bilder farbig und allemal das eine mit der Farbe, die dem andern als Ergänzungsfarbe zugehört, erscheinen.

Um den Versuch zu machen, stellt man das Auge so, daſs es einen von weiſsen Wolken ausgehenden und unter dem Polarisationswinkel von einem unbelegten Glase zurückgeworfenen Strahl empfängt. Hält man nun einen Doppelspath vor das Auge, dessen vom Auge abgekehrte Seite mit einer undurchsichtigen, nur durch eine kleine Oeffnung den Strahl zulassenden Platte bedeckt ist, so sieht man in den meisten Stellungen des Doppelspaths ein doppeltes Bild dieser Oeffnung; aber wenn der Hauptschnitt des Krystalls mit der Polarisations-Ebene des auffallenden Strahls zusammenfällt oder auch gegen diese senkrecht ist, so erscheint nur *ein* Bild, weil im ersten Falle alle Strahlen der gewöhnlichen Brechung folgen, im andern Falle alle der ungewöhnlichen Brechung.

---

1 Mém. de l'Inst. de France. XII. 1. und G. XL. 145. Auch Brewster hat diese Erscheinungen unabhängig von Arago entdeckt. Treatise on philos. Instrum. by Brewster. p. 336.

Digitized by Google

Will man die Wirkung des Glimmerblättchens beobachten, so wählt man eine dieser beiden Stellungen des Doppelspaths, ich will annehmen diejenige, bei welcher das ungewöhnliche Bild verschwunden ist, man bringt dann die Glimmertafel in den polarisirten Strahl, so daſs sie senkrecht, und ehe der Strahl den Doppelspath erreicht, von demselben getroffen wird, und nun sieht man das ungewöhnliche Bild wieder hervortreten und beide Bilder zeigen sich gefärbt. Diese Färbung ist desto unerwarteter, da nicht allein das Glimmerblättchen für sich allein, selbst im polarisirten Strahle, ganz ungefärbt erscheint, sondern auch hinter den Doppelspath gehalten keine gefärbten Doppelbilder hervorbringt, wenn das auffallende Licht unpolarisirtes Licht ist. Eben diese Eigenschaft, fast in allen Lagen das doppelte Bild farbig herzustellen, bemerkte schon Arago auch am Marienglase, welches selbst in sehr unvollkommenen Stücken die Färbung der Bilder sehr gut zeigt; aber besser zu regelmäſsigen Versuchen ist der blätterige Gyps (schwefelsaurer Kalk), der sich sehr leicht in dünne Blättchen von erheblicher Gröſse und überall gleicher Dicke zerspalten läſst und dabei sehr schön durchsichtig und farbenlos ist. Mit ihm sind die meisten Versuche, namentlich die von Biot, angestellt worden.

61. Wenn der polarisirte Strahl bei der angegebenen Anordnung des Versuchs die Gypsplatte senkrecht trifft, so bemerkt man erstlich, daſs dieselbe Gypsplatte immer dieselben Farben, aber nicht in jeder Stellung mit gleicher Intensität, giebt, und zweitens, daſs verschiedene Gypsplatten ungleiche Farben zeigen, die von der Dicke der Gypsplatte abhängen. Um die Umstände näher kennen zu lernen, von welchen beide Verschiedenheiten abhängen, kann man den Versuch entweder mit dem Doppelspath anstellen, oder mit einem zweiten auf den Polarisationswinkel gestellten Spiegel. Für den letztern Versuch dient das schon erwähnte (nr. 9.) Polarisations-Instrument, welches zu diesen Versuchen noch mit einem zwischen beiden Spiegeln angebrachten Kreise versehn ist, um auf diesen die Gypsplatte zu befestigen und ihr sowohl in der gegen den Strahl senkrechten Ebene eine Drehung, als auch gegen diese Ebene eine verschiedene Neigung ertheilen zu können. Die zwei Spiegel dieses Instruments nehmen wir hier immer als beide auf den Polarisationswinkel gestellt an.

Digitized by Google

Es ist aus dem Vorigen bekannt, daſs hier der zweite Spiegel den durch den ersten Spiegel polarisirten Strahl zurückwirſt, wenn die Reflexions-Ebenen beider Spiegel zusammenfallen, und daſs er ihn nicht zurückwirſt, wenn die Reflexions-Ebenen auf einander senkrecht sind; der Kürze wegen will ich die Stellung des zweiten Spiegels, bei welcher jenes statt findet, die Drehung auf 0°, diejenige, wobei das zweite statt findet, die Drehung auf 90° oder die gekreuzte Stellung der Spiegel nennen. So wie durch die Gypsplatte, wenn sie den polarisirten Strahl auffängt, das zweite Bild im Doppelspath hergestellt wird, ebenso wird im zweiten Spiegel das Bild des bei 90° Drehung unsichtbar gewordenen Gegenstandes wieder hell, und erscheint farbig, wenn man in dem Zwischenraume zwischen beiden Spiegeln den polarisirten Strahl durch die Gypsplatte gehn läſst, und es erscheint hier dieselbe Farbe, mit welcher das *ungewöhnliche* Bild im Doppelspathe sich zeigt; bringt man dagegen den zweiten Spiegel auf 0°, so sieht man hier den durch zweimalige Abspiegelung dargestellten hellen und an sich farbenlosen Gegenstand (weiſse Wolken zum Beispiel) mit der Ergänzungsfarbe zu der eben beobachteten oder so gefärbt, wie das *gewöhnliche* Bild im Doppelspathe gefärbt war. Das also erhellt deutlich, daſs durch die Depolarisirung, welche der Gyps bewirkt, gewisse Farbenstrahlen fähig werden, im Doppelspathe, dessen Hauptschnitt mit der Polarisations-Ebene des Strahls zusammenfällt, in das ungewöhnliche Bild überzugehn, und indem sie so dem gewöhnlichen Bilde entzogen werden, lassen sie diesem nur die Ergänzungsfarben oder wenigstens ein starkes Uebergewicht dieser Farben; ebenso ertheilt die Gypsplatte eben jenen Farbenstrahlen die Fähigkeit wieder, aus dem zweiten auf 90° gestellten Spiegel zurückgeworfen zu werden, und da diese dem bei der Stellung auf 0° hervorgehenden Bilde entzogen werden, so muſs sich da das Bild mit der zu der vorigen gehörenden Ergänzungsfarbe zeigen [1].

62. Aber obgleich im Allgemeinen die Gypsplatte diese Depolarisirung bewirkt, so giebt es doch, wenn der polarisirte Strahl sie immer senkrecht trifft, zwei Stellungen der Gyps-

1 Auch Eisplatten sind hierzu tauglich. Mém. de l'Inst. de France. XIII. 54. Förstemann's Beob. in G. LXXVI. 76.

platte, wobei sie diese Eigenschaft nicht zeigt. Ich will bei dem Versuche mit zwei Spiegeln stehn bleiben, da die Anwendung auf den Versuch mit dem Doppelspathe dann von selbst erhellt. Man lege also eine dünne Gypsplatte in die Mitte zwischen beiden Spiegeln des Polarisations-Instruments, senkrecht gegen die Richtung des Strahls, und drehe sie in ihrer eigenen Ebene, so wird man bei einer gewissen Stellung derselben das bei der Drehung auf 90° im zweiten Spiegel hervorgegangene Bild sich gänzlich verdunkeln sehn, und bei derselben Lage der Gypsplatte zeigt sich das Bild in dem auf 0° gestellten Spiegel weiſs; auch bei allen übrigen Stellungen, die der zweite Spiegel durch die Drehung erlangt, ist alles so, wie es ohne die Gypsplatte gewesen wäre. In dieser Lage hat also die Gypsplatte die Polarisirung des vom ersten Spiegel kommenden Strahls nicht geändert, und wenn man die Linie der Gypsplatte bemerkt, die dann in der Reflexions-Ebene liegt, so zeigt sich, daſs immer, wenn diese Linie zu derselben Lage zurückgebracht wird, aber auch wenn sie senkrecht gegen die Polarisations-Ebene des Strahls ist, dieselbe ungeänderte Polarisirung statt findet. Läſst man die Gypsplatte nach und nach die verschiedenen Stellungen, die sie, in ihrer eignen Ebene gedreht, erhalten kann, annehmen, so findet man, daſs die Helligkeit des farbigen Bildes im zweiten auf 90° gestellten Spiegel zunimmt, bis die Gypsplatte um 45° von jenen vier Stellungen (bei welchen die angegebene Linie 0°, 90°, 180°, 270° mit der ersten Reflexions-Ebene macht) entfernt ist. Die Lage der Linie, welche die Eigenschaft hat, mit der ursprünglichen Polarisations-Ebene parallel oder gegen sie senkrecht gestellt die Polarisation des Strahls nicht zu ändern, hat Biot[1] genau bestimmt. Er sah sie als die Axe doppelter Brechung der Gypskrystalle an, aber Brewster hat gezeigt, daſs diese Krystalle zwei-axig sind und jene Linie den Winkel, den beide Axen mit einander bilden, halbirt. Diese Linie können wir indeſs, um sie hier bequem zu bezeichnen, den *Hauptschnitt* der Krystalle der Gypsplatte nennen.

---

1 Traité IV. 320. Diesen Hauptschnitt findet man unter $16\frac{1}{4}°$ geneigt gegen eine Seite der schiefen Parallelogramme, in welche das Blättchen sich theilt.

Digitized by Google

Um zuerst die Abhängigkeit der Farben-Erscheinung von der Lage dieses Hauptschnitts vollkommen kennen zu lernen, ist noch folgendes zu bemerken. Wenn man den Hauptschnitt der Gypsplatte den Winkel $= i$ mit der ersten Polarisations-Ebene machen läſst, so erscheint das Bild im zweiten Spiegel farbenlos, sowohl wenn der zweite Spiegel die Drehung $= i$, als wenn er die Drehung $= 90° + i$, $180° + i$, $270° + i$ erreicht. Die Intensität des Lichts dieser farbenlosen Bilder ist ungleich bei den um 90° verschiedenen Stellungen, gleich bei den um 180° verschiedenen Stellungen. Dreht man den Spiegel von der Stellung, wo die Bilder farbenlos erschienen, nach der einen Seite, so treten die Farben des ungewöhnlichen Bildes hervor, dreht man ihn nach der andern Seite, so treten die Farben, die im Doppelspathe dem gewöhnlichen Bilde gehören, hervor, und erreichen gleich weit von jener Stellung ihre gröſste Lebhaftigkeit.

Diese verschiedenen Erscheinungen bewogen Biot die Ansicht zu fassen, daſs man die Lichttheilchen so betrachten könne, als ob ein Theil derselben, deren Farbe durch O bezeichnet werden mag, in der vorigen Polarisation bleibt, der übrige Theil $= E$, zu welchem jenes die Ergänzungsfarbe ist, in einer neuen Richtung, um $2i$ von jener abweichend, polarisirt ist. Steht nun der Spiegel in der Drehung $= i + x$, so wirft er ein gemischtes Licht

$$= O. \, Cos.^2 \, (i + x) + E. \, Cos.^2 [2i - (i + x)]$$
$$= O. \, Cos.^2 (i + x) + E. \, Cos.^2 (i - x)$$

zurück[1]. Für $x = o$ oder wenn die Drehungsstellung des Spiegels mit der Lage der Axe des Gypskrystalles übereinstimmt, geht dieses in

$$(O + E) \, Cos.^2 \, i \text{ über}$$

und für $x = 90°$ in

$$(O + E) \, Sin.^2 \, i.$$

Diese beiden gemischten Strahlen sind farbenlos, weil $O + E$ zusammen weiſs geben, indem O die Ergänzungsfarbe zu E ist, und im Allgemeinen ist die Intensität des bei der Stellung i und bei der Stellung $90° + i$ aus dem Spiegel reflectirten Lichts ungleich, wenn Sin. i. nicht $=$ Cos. i. ist. Für $i = 45°$ sind beide gleich.

---

1 S. oben nr. 16.

Digitized by Google

Hat x einen andern Werth, so ist jene Lichtmischung durch

$$(O + E)\,(\mathrm{Cos.}^2 i.\ \mathrm{Cos.}^2 x + \mathrm{Sin.}^2 i.\ \mathrm{Sin.}^2 x)$$
$$+ (E - O)\ 2\ \mathrm{Sin.} i.\ \mathrm{Cos.} i.\ \mathrm{Sin.} x.\ \mathrm{Cos.} x \text{ bestimmt.}$$

Der erste Theil dieses Ausdrucks bezeichnet wieder ein Weiſs von anderer Intensität; der zweite Theil, welcher auch $= (E - O)\ \mathrm{Sin.}\ i.\ \mathrm{Cos.}\ i.\ \mathrm{Sin.}\ 2x$ ist, wird für $x = 45°$ am gröſsten, und da dann das erste Glied am kleinsten wird, also die Beimischung von Weiſs am kleinsten ist, so muſs bei der Drehung $= i + 45°$ die eine, bei der Drehung $= i - 45°$ die andere der beiden Ergänzungsfarben am lebhaftesten hervortreten. Dieſs ist auch wirklich der Fall. Bei $i = 45°$ treten in dem Falle, da auch $x = 45°$ ist, die Farben O und E ganz rein hervor, jene bei $i + x = 0$, diese bei $i - x = 0$.

63. Biot's wichtigste Untersuchungen[1] betreffen die Frage, wie die hervorgehende Farbe von der Dicke der Blättchen abhängt. Schon die oberflächlichste Aufmerksamkeit reicht hin, um zu bemerken, daſs eine nicht überall gleich dicke Gypsplatte ungleiche Farben zeigt und daſs da, wo sichtbar eine verschiedene Dicke anfängt, auch die Farbe scharf abgeschnitten eine andere ist; Biot hat die einer jeden Farbe zugehörende Dicke genau bestimmt, wozu er sich eines diese Dicke mit der gröſsten Schärfe messenden Instruments[2], des Sphärometers, bediente. Um die Farben besser zu vergleichen, als es geschehn kann, wenn man mehrere Platten eine nach der andern untersucht, stellte er den Versuch auf etwas andere Art und so an, daſs die Farben der neben einander liegenden Platten mit einem Blicke übersehn und verglichen werden konnten, indem sich dann besser das Urtheil, ob man die Farbe mit einer Farbe des einen oder des andern Newton'schen Farbenringes glaube vergleichen zu können, fällen lieſs.

64. Die Vergleichung mit diesen Newton'schen Farbenringen[3] ist es nämlich, welche sich hier als ungemein wichtig zeigt. Denn so wie bei diesen Farbenringen der Abstand der beiden das Licht zurückwerfenden Flächen ganz streng

1 Biot Traité IV. 344. und Mém. de l'Inst. de France. XII. 135. XIII. 1.

2 S. Art. *Sphaerometer.*

3 Vergl. Art. *Anwandelungen.*

Digitized by Google

die Farben in den durch Zurückwerfung sichtbar werdenden Ringen bestimmt und die Newton'sche Tafel [1] die jeder Farbe der verschiednen Ordnungen zugehörigen Zwischenräume angiebt, ebenso bestimmt dieselbe Tafel die Verhältnisse der Dicken, welche die verschiedenen Gypsplatten haben müssen, um gewisse Farben zu zeigen. Biot fand, daſs die Dicke von 36,5 Theilen seines Sphärometers, die 0,0824 Millimeter ausmachten, diejenige sey, wobei das Gypsblättchen im ungewöhnlichen Bilde das schöne Blau der zweiten Ordnung zeigte, welchem in der Newtons'chen Scale die Zahl 14 zugehört, und alle Versuche stimmten dahin überein, daſs der Dicke x in Theilen des Sphärometers diejenige Farbe zugehörte, die neben der Zahl $= \frac{14 . x}{36,5}$ in der Newton'schen Tafel steht. Für homogenes Licht würde also das Violett der ersten Ordnung bei der Dicke $x = \frac{4 . 36,5}{14} = 10,43$, das Violett der zweiten Ordnung bei $x = \frac{12 . 36,5}{14} = 31,29$, das Violett der dritten Ordnung bei $x = 52,1$ am lebhaftesten hervortreten; bei Platten von der Dicke = 42 könnte dagegen im einfachen violetten Lichte keine Färbung erscheinen, im weiſsen Lichte aber würde sich hier das Gelb der zweiten Ordnung zeigen, indem das einfache gelbe Licht bei $x = \frac{16,3 . 36,5}{14} = 42,5$ am vollkommensten sich darstellt, wie die Tafel S. 312 im Art. *Anwandelungen* zeigt.

Dieser Regel gemäſs sind also für irgend einen homogenen Farbenstrahl die Dicken 1.e, 3.e, 5.e, 7.e u. s. w. am vollkommensten geeignet, diese Farbe im ungewöhnlichen Bilde darzustellen, wogegen bei den Dicken 2.e, 4.e, 6.e, 8.e die Strahlen dieser Farbe nur im gewöhnlichen Bilde sichtbar sind. Und wenn man eben diese Regel auf einen andern Farbenstrahl anwenden will, so muſs man für e den Werth so abändern, wie es die verhältniſsmäſsige Länge der Anwandelungen oder der Undulationen fordert [2].

---

1 Newt. Opt. Lib. II. Pars. II., welcher für homogenes Licht die Tafel in diesem Wörterb. I. 312. entspricht.

2 Ueber Abweichungen von dieser Regel s. III, 77.

Wurden mehrere Gypsplatten so auf einander gelegt, daſs ihre etwas rhomboidischen Krystalle einander deckten, oder so, daſs die Linien, welche den Hauptschnitt bezeichneten, parallel waren, so wirkten sie genau so, wie eine Platte, deren Dicke der Summe jener Dicken gleich war. Bediente man sich zuerst *einer* überall gleich dicken Platte und zerspaltete sie dann in mehrere dünne Platten, so ging bei unveränderter Lage eben die Farbe hervor, man mochte nun jene eine angewandt haben, oder die durch Zerspaltung hervorgegangenen alle vereinigt anwenden, um den Strahl durch sie gehn zu lassen[1]. Dagegen wenn man zwei Platten von ungleicher Dicke gekreuzt auf einander legte, so daſs jene Hauptschnitte rechte Winkel mit einander machten, so ging eine Farbe hervor, die genau der Differenz der Dicken entsprach, und es war daher leicht, mit stärkeren Platten, die nur wenig an Dicke verschieden waren, diejenigen glänzenden Farben darzustellen, die zum Beispiel der zweiten Ordnung der Newton'schen Farbenringe entsprechen.

Alle diese Regeln sind durch zahlreiche Abmessungen und durch Berechnung der Zahl in Newton's Tafel, welcher die Farben entsprechen sollten, genau bestätigt worden[2]. Sehr dicke Platten zeigen keine Färbung, so wie es auch ja bekannt ist, daſs die Newton'schen Ringe bei zu groſser Dicke der Luftschichten in Weiſs übergehn.

65. Diese bestimmte Abhängigkeit der Farben von der Dicke der Platten hat Biot für mehrere Krystalle untersucht und richtig gefunden. Für Krystalle verschiedener Art ist aber die einer gleichen Farbe entsprechende Dicke ungleich und umgekehrt proportional der Veränderung, welche die doppeltbrechende Kraft des Krystalls in dem Quadrate der Geschwindigkeit des gebrochenen Strahls bei gleicher Lage hervorbringt[3]. Hieraus erklärt es sich, warum man aus Doppelspath keine Platten, der Axe parallel, so dünn, als zu Hervorbringung kenntlicher Farben erforderlich ist, erhalten kann; denn bei dem Doppelspath ist der Coefficient, mit welchem der veränderliche, vom

---

1 Mém. de l'Inst. XIII. 31. 43. 103.

2 Biot Traité IV. 346. 349. 355. 360. 411. 418. und Mém. de l'Inst. de Fr. XII. 135. XIII. 19. Anwendungen zu einem Farbenmesser hat Biot angegeben, s. Art. *Kyanometer*. S. 1371. und van *Beek* in Schweigg. Jahrb. XXXII. 246.

3 Biot IV. 361.

Digitized by Google

Neigungswinkel des Strahls gegen die Axe doppelter Brechung abhängige Theil des Quadrats der Geschwindigkeit multiplicirt ist, 17,7 mal so groſs als beim Bergkrystall und beim Gyps; die Scheibchen aus Doppelspath müſsten also, wenn sie der Axe parallel seyn sollen, nur $\frac{1}{18}$ der Dicke der Gypsblättchen haben, und diese müssen schon so sehr dünn seyn, um noch Farben zu zeigen[1].

Wenn man zwei Platten verschiedener Art verbindet, so wirken sie, wenn ihre Hauptschnitte parallel sind, so wie es der Summe beider, dagegen, wenn ihre Hauptschnitte auf einander senkrecht sind, so wie es der Differenz beider Dicken gemäſs ist. Um dieses richtig zu verstehn, muſs man sich daran erinnern, daſs es doppelt brechende Krystalle giebt, die wie der Doppelspath den ungewöhnlichen Strahl von der Axe zurückzustoſsen scheinen, *negative*, und andere, z. B. den Zircon und Quarz, die den ungewöhnlichen Strahl gegen die Axe heran zu ziehn scheinen, *positive*[2]. Verbindet man zwei der Axe parallel geschnittene Krystallblättchen der einen Art mit parallel gelegten Hauptschnitten, so wirken sie, wie es einer dickeren Platte angemessen ist; verbindet man zwei Krystallblättchen, deren eines zu den negativen, das andere zu den positiven gehört, so wirken sie, bei parallelen Hauptschnitten, wie es einer dünnern Platte angemessen ist. In jenem Falle gehn also die Farben der entferntern, unscheinbaren Ringe, in diesem die Farben der nähern glänzendern Ringe hervor. Beim Kreuzen der Axen unter rechtem Winkel ist es umgekehrt. Daſs man bei der Bestimmung der Farben aus den gemessenen Dicken, wenn ungleichartige Blättchen angewandt werden, diese ungleiche Wirksamkeit auch dem Grade nach berücksichtigen muſs, versteht sich von selbst[3].

66. Dieses genaue Uebereinstimmen mit den Anwandelun-

---

1 Mém. de l'Inst. XIII. Part II. p. 7.

2 Vgl. Art. *Brechung*. S. 1185. Die negativen sind diejenigen, in welchen der gewöhnlich gebrochene Strahl oder der, dessen Vibrationen gegen die Axe senkrecht sind, nach der Undulationstheorie, der langsamer fortgepflanzte ist; in den positiven Krystallen ist der ungewöhnliche Strahl, dessen Vibrationen in der durch ihn und die Axe gehenden Ebene liegen, der langsamere.

3 Biot's dieses beweisende Versuche sind hier freilich mit zweiaxigen Krystallen angestellt. Biot. IV. 423. Mém. de l'Inst. XIII. Part. II. p. 23.

Digitized by Google

gen führte Biot zu einer Theorie, die ich hier, da sie sich gegen die von mehreren Seiten gemachten Einwürfe schwerlich vertheidigen läſst, nur kurz erklären will. Gewiſs wird jeder den Scharfsinn, mit welchem diese Theorie durchgeführt ist, anerkennen, und das Verdienst dessen, der sie aufstellte, nicht zu sehr herabsetzen, weil sie mit spätern Entdeckungen nicht übereinstimmt. Die von Biot so genannte *polarisation mobile* ist es, welche ihm zur Erklärung dieser Erscheinungen dient. Nach seiner Ansicht haben nämlich die durch einen dickern Krystall durchgegangenen Lichttheilchen eine *polarisation fixe* erreicht, das ist, die Axen der Lichttheilchen behalten unverändert ihre Lage gegen die Polarisations-Ebene; aber, ehe sie zu dieser gelangen, machen die Lichttheilchen, indem sie in einen doppelt brechenden Körper eintreten, Oscillationen, und wenn der brechende Körper eine sehr dünne Schicht bildet, so treten sie wieder aus, ohne zur *polarisation fixe* gelangt zu seyn. Wir finden daher den durch eine so dünne Platte durchgegangenen, im polarisirten Zustande eingetretenen Strahl in einem ungleichen Zustande der Polarisation, jenachdem er eine gröſsere oder geringere Dicke durchlaufen hat. Um den Gegenstand auf die einfachste Weise zu übersehn, wollen wir uns einen Strahl homogenen oder einfarbigen Lichts denken, um für jetzt auf die bei verschiedenen Farben ungleiche Länge der Anwandelungen nicht Rücksicht nehmen zu dürfen. Die Lichttheilchen, aus denen er besteht, hatten eine feste Polarisation, als sie eintraten; aber wenn jener Hauptschnitt der Gypsschicht einen Winkel $= i$ mit dieser ursprünglichen Polarisations-Ebene macht, so fangen die Lichttheilchen Oscillationen an, wodurch sie beim Eindringen bis zu einer Tiefe $= e$ eine neue Polarisation, deren Ebene um den Winkel $= 2.i.$ gegen die vorige geneigt ist, erlangen. Bei der Tiefe $= 2e$ sind sie zu der ursprünglichen Polarisation, bei der Tiefe $= 3e$ zu der neuen Polarisation unter dem Winkel $= 2.i$ zurückgekehrt u. s. w. Findet also der Austritt statt, wenn die Länge des Wegs in der Platte $= 2.e$, $= 4.e$, $= 6.e$ ist, so zeigt sich dieser Strahl in seiner ursprünglichen Polarisation, das heiſst, er wird aus dem zweiten Spiegel, den ich hier immer auf 90° gestellt annehme, nicht zurückgeworfen; ist hingegen die Dicke der Platte $= e$ oder $= 3.e$, $= 5.e$, $= 7.e$, so finden wir das Theilchen in

Digitized by Google

der dem Winkel $=2.i$ entsprechenden Polarisation, und von diesen Theilchen gehn daher viele als zurückgeworfen aus jenem Spiegel hervor. Diese Veränderung der Polarisation ist am wirksamsten, wenn $i=45^{\circ}$ ist, indem dann bei vollendeter Oscillation die senkrecht gegen die vorige Polarisations-Ebene polarisirten Theilchen am vollkommensten von dem Spiegel, dessen Reflexions-Ebene dieser Polarisations-Ebene entspricht, zurückgeworfen werden.

Ein einfarbiger Strahl würde also bei den Dicken e, 3e, 5e, 7e sich in dem auf 90° gestellten Spiegel zeigen, bei den Dicken 2e, 4e, 6e, 8e würde dagegen das Bild verdunkelt seyn, und in den letztern Fällen verstärkt dann dieser Strahl das bei der Stellung auf 0° hervorgehende Licht. Dagegen wenn der Lichtstrahl nicht homogen ist, so ist die Dicke $=e$, die für den rothen Strahl die Vollendung einer halben Oscillation bestimmte, nicht mehr genau dem Ende einer halben Oscillation des blauen Strahls entsprechend, und es wird daher bei der Dicke $=2e$, $4e$, $6e$, wo jener rothe Strahl sich der Zurückwerfung entzieht, irgend ein anderer Farbenstrahl oder vielmehr eine Mischung von Farbenstrahlen der Zurückwerfung aus dem auf 90° gestellten Spiegel fähig seyn. Wenn man dieselben Rechnungen, welche man bei den Anwandelungen führen muſs, um die wegen Ungleichheit der Länge der Anwandelungen einer jeden Dicke der Luftschicht entsprechende Farbe in den Farbenringen zu finden, hier anwendet, so erhält man offenbar, nach dem Maſse der Dicke der Platten fortschreitend, eben den Fortgang der Farben, und diese Oscillationen scheinen daher die Phänomene, so weit sie von der Dicke der Platten abhängen, vollkommen darzustellen.

67. Gegen diese Theorie der beweglichen Polarisation macht Herschel einen sehr wichtigen Einwurf, daſs nämlich die Grenze, wo, und der Grund, warum diese bewegliche Polarisation endlich in die feste Polarisation übergehe, nicht bestimmt sey. Bei einem Eindringen in sehr dünne Schichten bringen die Oscillationen immer wechselnd die Polarisation auf 0 und auf $2i$ hervor, bei groſser Dicke des Krystalls dagegen ist der Strahl in zwei gespalten, für deren einen die Polarisations-Ebene dem Winkel $=i$, für den andern dem Winkel $=90^{\circ}+i$ entspricht; nach jenen Bestimmungen erhellt aber nicht, daſs etwa die Oscillationen immer geringer würden und

Digitized by Google

endlich sich in der Mitte endigten, sondern es ist nichts angegeben, wodurch diese feſte Polarisation sich an die bewegliche anschlösse[1]. —

Ein zweiter Einwurf, den Biot sich selbst gemacht hat, aber ihn zu beseitigen glaubt[2], ist der, daſs wir nach dem Hervorgehn die Theilchen so wieder finden, als ob sie immer die letzte Oscillation vollendet hätten, daſs wir sie nie in einem Mittelzustande zwischen 0 und 2i finden, sondern sprungweise von 0 auf 2.i und von 2.i auf 0 übergehend. Dieser Einwurf ist desto schwerer zu beseitigen, da sich bei einem zerspaltenen Blättchen, dessen nach einander wirkende Theile genau den Erfolg hervorbringen, wie ein unzerspaltenes Blättchen, dessen Dicke der Summe der Dicken jener gleich ist, nicht einsehn läſst, wie diese Gleichheit erhalten werde.

Einwürfe andrer Art von Fresnel und Arago verursachten einen nicht ohne Bitterkeit geführten Streit, den ich lieber ganz übergehe[3], zumal da die eine Hauptsache, daſs die Strahlen bald in der ursprünglichen Richtung, bald in 2i polarisirt sind, hier bestritten ward und nachher von Fresnel selbst als richtig anerkannt worden ist.

68. Wichtig dagegen ist die in eben jenem Berichte Arago's, der zu dem Streite Anlaſs gab, über Fresnel's Erklärung dieser Farben-Erscheinungen mitgetheilte Nachricht, die indeſs später von Fresnel selbst noch ausführlicher dargestellt worden ist[4].

Schon Young hatte sogleich, nachdem Biot's Versuche bekannt geworden waren, die Bemerkung ausgesprochen, daſs auch hier alles auf die Differenz der durchlaufenen Wege ankomme, aber eine eigentliche Erklärung hat Fresnel zuerst gegeben. Dieser geht von der Voraussetzung aus, deren Richtigkeit man wohl gewiſs zugestehn muſs, daſs auch im dünnen Gypsblättchen der polarisirt auffallende Strahl in allen

---

1 Daſs Biot selbst diesen Mangel einer sichern Nachweisung des Zusammenhanges beider Polarisationen empfand, zeigt er Ann. de Ch. et Ph. XVII. 253.

2 Traité IV. 401.

3 S. vorzügl. Ann. de Ch. et Ph. XVII. 80. 102. 167. 225. 249. 250. 267.

4 Ann. de Ch. et Ph. XVII. 94. und XLVI. Poggend. XXIII. 392.

Digitized by Google

Fällen, wenn nicht die Polariſations-Ebene mit dem Hauptſchnitte zuſammenfällt oder darauf ſenkrecht iſt, in zwei entgegengeſetzt polariſirte Strahlen zerlegt wird. Dieſe Strahlen, welche, der eine die gewöhnliche, der andere die ungewöhnliche Brechung erlitten haben, ſind bei ſo dünnen Blättchen nach dem Hervorgehn nicht ſo getrennt, daſs man ſie einzeln wahrnehmen könnte, aber da ſie den Weg im Innern des Blättchens mit ungleichen Geſchwindigkeiten durchlaufen haben, ſo iſt, der Gleichheit der Wege ungeachtet, auf eine Verſchiedenheit in den Undulationen Rückſicht zu nehmen. Dieſe Verſchiedenheit bringt jedoch nichts von Interferenzen hervor, wenn der Strahl einzig durch die Glimmerplatte oder Gypsplatte gegangen iſt, denn die auf einander ſenkrecht polariſirten Strahlen zeigen keine Wirkung auf einander; deshalb ſieht man weder Farben noch ſonſt etwas merkwürdiges, wenn der unpolariſirt auffallende oder auch der polariſirt auffallende Strahl nur durch das dünne Blättchen geht. Aber wenn nun dieſer doppelte Strahl durch einen Doppelſpath geht, ſo wird er zu einem vierfachen, und unter dieſen Strahlen ſind zwei nach der einen Richtung und zwei nach der darauf ſenkrechten Richtung polariſirt, ſo daſs je zwei gegenſeitig auf einander einwirken können. Bleiben wir bei einem dieſer Paare ſtehn, ſo iſt der eine ſchon in dem Blättchen gewöhnlich gebrochen und nun auch im Doppelſpathe gewöhnlich gebrochen, der andere war dort ungewöhnlich gebrochen und iſt erſt hier in das gewöhnlich gebrochene Bild übergegangen; dieſe beiden jetzt gewöhnlich gebrochenen Strahlen ſind alſo anzuſehn, als ob ſie etwas ungleiche Wege durchlaufen hätten, indem der eine bei dem Durchgange durch das Blättchen um einen Theil einer Undulation, oder um eine ganze Undulation oder mehr, dem andern vorausgekommen iſt. Denken wir nun zunächſt nur an einen homogenen Farbenſtrahl, ſo wird nach Maſsgabe der Dicke des Blättchens der Fall eintreten können, daſs beide Strahlen um eine halbe Undulation oder um eine ganze Undulation verſchieden ſind, daſs ſie alſo ſich entweder gegenſeitig zerſtören oder ſich gegenſeitig verſtärken; in jenem Falle tritt die Farbe in dem zuletzt als gewöhnlich gebrochen hervorgehenden Strahle nicht hervor, in dieſem Falle hingegen zeigt ſich der Strahl in ſeinem gefärbten Lichte. Iſt das Licht aus mehreren Farbenſtrahlen gemiſcht oder iſt es

Digitized by Google

weiſs, so gilt die Verſtärkung des Lichts für die Farbenſtrahlen, für welche die Undulationen um eine ganze Undulationslänge verſchieden ſind oder wo die Verſchiedenheit wenigſtens nahe so groſs iſt, und es erhellt leicht, daſs genau wie bei den Newton'ſchen Farbenringen die hervorgehenden Farben ſich nach der Dicke der Blättchen richten müſſen, nur daſs hier eine viel gröſsere Dicke der Blättchen nöthig iſt, als dort, weil das Vorauseilen des einen Strahls vor dem andern, ſelbſt in einer ſehr merklichen Dicke des Blättchens, nur erſt eine halbe Undulation beträgt und offenbar die Blättchen deſto dicker ſeyn müſſen zu Bewirkung eines gleichen Erfolgs, je geringer der Unterſchied der Geſchwindigkeit des gewöhnlich und des ungewöhnlich gebrochenen Strahls in dem als dünnes Blättchen angewandten Körper iſt.

69. Hiermit iſt die Färbung des Strahls oder das Hervortreten der einen Farbe aus dem weiſsen Strahle, während eine andere Farbe (deren Undulationslänge gerade so iſt, daſs die beiden Strahlen um eine halbe Undulationslänge oder drei halbe Undulationslängen u. s. w. verſchieden ſind) unterdrückt iſt, völlig erklärt; aber es ſcheint, daſs dieſelbe Schluſsfolge auch auf den zweiten Doppelſtrahl paſſe und daſs auch dieſer *dieſelbe* Farbe zeigen müſſe, ſtatt daſs die Erfahrung ihn als die Ergänzungsfarbe zeigend angiebt. Der nach dem Durchgange durch beide Kryſtalle als ungewöhnlich gebrochen hervortretende Strahl iſt nämlich ebenſo gut aus zwei Strahlen hervorgegangen, deren einer ſchon in dem Gypsblättchen ungewöhnlich, der andre dagegen dort gewöhnlich gebrochen war. Bei ihnen findet dieſelbe Differenz der Geſchwindigkeiten ſtatt und folglich ſollte dieſelbe Differenz der Undulationen eintreten; aber hier zeigt ſich nun, daſs im einen Falle eine genaue halbe Undulation verloren geht und deshalb die Ergänzungsfarbe zu derjenigen geſehn wird, die ſich im andern Falle zeigt. Läſst ſich dieſer Verluſt einer halben Undulation nachweiſen, so muſs allerdings gerade diejenige Farbe hier hervortreten, die im andern Strahle unterdrückt ward, diejenige Farbe dagegen hebt ſich auf, die vorhin am lebhafteſten war, und so ſieht das Auge im einen Strahle die Ergänzungsfarbe zu der im andern Strahle ſichtbaren.

Ueber dieſes Verlorengehn einer halben Undulation giebt Fresnel folgende ſeiner ganzen Theorie ſehr wohl entſpre-

Digitized by Google

chende Auskunft. Es sey PP' die Ebene der ursprünglichen Fig.
Polarisation des Strahls, OO' der Hauptschnitt des krystallisirten 93.
Blättchens, SS' der Hauptschnitt des Doppelspaths, durch welchen das Auge den Strahl empfängt. Indem nun der in C die Ebene des Papiers senkrecht treffende, nach CP polarisirte Strahl auf die Gypsplatte auffällt, so zerspaltet er sich in zwei Strahlen den gewöhnlich gebrochenen Fo, der nach CO polarisirt ist, den ungewöhnlich gebrochenen Fe, der nach CE' senkrecht auf CO polarisirt ist. Jeder dieser beiden wird bei dem Durchgange durch den Doppelspath in zwei Strahlen zerlegt und es entstehn daher zwei zuletzt gewöhnlich gebrochene und nach CS oder CS' polarisirte Strahlen Foo' und Feo' und zwei zuletzt ungewöhnlich gebrochene nach CT oder CT' polarisirte Strahlen Foe' und Fee'. Was die beiden zuletzt gewöhnlich gebrochenen betrifft, so werden sie durch eine Zerlegung der nach CO, CE' polarisirten Strahlen hervorgebracht, und indem sie eine Mittelrichtung nach CS erhalten, richten die Interferenzen sich bei ihnen bloſs nach der Differenz der den Wegen gemäſs vollendeten Undulationen; Foe' und Fee' dagegen erhalten durch die letzte ungewöhnliche Brechung nicht eine gemeinschaftliche Mittelrichtung, sondern entgegengesetzte Richtungen, indem aus dem nach CO polarisirten Fo der nach CT polarisirte Foe' entsteht, aus CE' dagegen der nach CT' polarisirte Fee'; diese aus CO, CE' entstandenen Strahlen *vereinigen* sich also nicht, sondern gehn zu gröſserer Trennung, bis sie auf einerlei Ebene gelangen, über, und in diesem Falle muſs man eine halbe Undulation dem zulegen, was die bloſse Differenz der Wege ergeben würde, oder man muſs dem einen Strahle genau den entgegengesetzten Zustand von dem beilegen, welcher den durchlaufenen Wegen angemessen seyn würde. Hiemit scheint also die Erklärung ganz genügend zu seyn. Die Berechnung der Intensität des Lichts in beiden Strahlen muſs ich hier übergehn.

Diese Erklärung paſst auch dann noch eben so gut, wenn es nicht eine einzige Platte ist, die eine bestimmte Dicke hat, sondern wenn diese Dicke als Summe mehrerer Plattendicken für Platten mit genau übereinstimmenden Axen hervorgeht. Die Ungleichheit der Undulationsphasen beider Strahlen geht nämlich dann genau ebenso fort, als wenn alle diese Platten fest vereinigt gewesen wären. Aber auch die Erscheinung, daſs

Platten mit gekreuzten Axen (oder so gelegt, daſs der Hauptschnitt der einen senkrecht gegen den Hauptschnitt der andern ist), die Farben zeigen, die der Differenz ihrer Dicken gemäſs sind, folgt hier von selbst. Denn wenn die erste Platte dem einen Strahle eine ganze Undulation Vorsprung gab, die andere, bei halb so groſser Dicke und einer gegen die vorige Stellung senkrechten Richtung des Hauptschnitts, dem andern Strahle eine halbe Undulation, so behält jener offenbar nur die der Differenz der Dicken angemessene halbe Undulation voraus, und darnach richtet sich die Farbe.

70. Aber auch alle andere Umstände sind dieser Undulationstheorie gemäſs, und insbesondre zeigt es sich vollkommen richtig, daſs die Polarisation des durch das Blättchen gegangnen Strahls als der ursprünglichen Polarisations-Ebene gemäſs erscheint, wenn die Voreilung ganze Undulationslängen beträgt, dagegen um 2i davon abweichend, wenn die Voreilung unge-
Fig. rade Hälften einer Undulation ausmacht. Ist nämlich PP′ die
93. ursprüngliche Polarisations-Ebene des in C die Ebene des Papieres senkrecht treffenden Strahls, SS′ der Hauptschnitt des Krystallblättchens, so waren zuerst die Vibrationen auf PP′ senkrecht, und werden zerlegt in Vibrationen senkrecht auf SS′ im gewöhnlich gebrochnen Strahle, parallel mit SS′ im ungewöhnlich gebrochenen Strahle. PCS ist der Winkel, den ich schon früher mit i bezeichnete, und die Vibrationsgeschwindigkeit ist = Cos. i im ersten und = Sin. i im zweiten Strahle, wenn sie in dem ursprünglichen Strahle = 1 war. Sind dann diese beiden Strahlen nach dem Durchgange durch das Blättchen um eine ganze Undulation verschieden, so gehn die Vibrationen zugleich von C nach T im einen, und von C nach S im andern Strahle, wenn sie der von C nach Q gehenden des ursprünglichen Strahls entsprechen; sie verhalten sich also jetzt ganz wieder so, wie vor dem Durchgange, indem aus ihrer Zusammensetzung eine Vibration = 1 nach CQ hervorgeht, und der Strahl ist in seinen Erscheinungen einem nach PP′ polarisirten, nach CQ vibrirenden, gleich. Ist dagegen der eine Strahl um eine halbe Undulation voraus, so ist eine nach CS′ gerichtete Vibration des einen Strahls mit einer nach CT gerichteten des andern verbunden, und jene ist ihrer Gröſse nach durch Sin. i, diese durch Cos. i ausgedrückt; sie verhalten sich daher wie eine aus ihnen resultirende Vibration, die nach CU gerichtet wäre, wenn TCU = i ist, und der Strahl zeigt sich also ganz, als ob

Digitized by Google

seine Polarisations-Ebene um den Winkel $= QCU = 2i$ von der ursprünglichen abwiche. Die Parallelogramme $csqt$ für den ersten und $\gamma\sigma\upsilon\tau$ für den zweiten Fall zeigen dieses noch deutlicher, indem $\gamma\upsilon$ mit CU parallel ist. Wenn der Unterschied der Wege durch einen andern Bruch ausgedrückt ist, so sind die Vibrationsgeschwindigkeiten beider Strahlen nicht durch den ganzen Verlauf einer Undulation in einerlei Verhältniſs und der Strahl hat daher keine bestimmte geradlinige Polarisation. Für die Differenz gleich dem Viertel einer Undulation würde zum Beispiel die gröſste Bewegung des Theilchens im einen Strahle mit dem anfangenden Rückgange (der Geschwindigkeit $=0$) des Theilchens im andern Strahle zusammengehören, und wenn für beide Vibrationen die Zeit gleich dem Achtel einer Vibration verflossen wäre, so hätten beide Aethertheilchen gleiche, auf einander senkrechte Geschwindigkeiten, und so fort für alle Phasen der Vibrationen wechselnd. Darum also sind die Erscheinungen nur jenen zwei Zuständen entsprechend, da für die übrigen Differenzen der Wege keine Polarisation hervorgeht[1].

Endlich verdienen einige früher schon erwähnte Fälle hier noch eine kurze Betrachtung. Ist (nr. 62.) $i=0$ oder $=90°$, so findet gar keine Zerlegung des ursprünglich polarisirten Strahls im Gypsblättchen statt, und es kommen daher auch aus dem Doppelspath oder aus dem zweiten Spiegel keine zu Interferenzen Veranlassung gebende zwei Strahlen hervor. Hat i irgend einen andern Werth und ist auch des Doppelspaths Hauptschnitt auf denselben Winkel gestellt, so gehn die in der Gypsplatte entstandenen zwei Strahlen auch nur als zwei Strahlen aus dem Doppelspathe hervor und behalten ihre auf einander senkrechten Polarisationen, so daſs sie zur Interferenz ungeschickt sind und weiſses Licht geben. Bedient man sich des zweiten Spiegels, der in die Drehung $=i$ gestellt ist, so wirſt dieser nur den einen aus dem Gypsblättchen hervorgehenden Strahl zurück, statt daſs bei jeder andern Stellung aus beiden Strahlen ein Antheil in die mit der Reflexions-Ebene übereinstimmende Polarisation übergeht. Eben dieses, daſs nur *ein* Strahl aus dem Spiegel hervorgeht, gilt auch bei der Drehung des Spiegels auf $90° + i$[2].

1 Poggend. XXIII. 392.

2 Mit wenigen Worten muſs ich doch hier Brewster's schöne

71. Eine zweite Farben-Erscheinung bietet sich in den Farbenringen dar, die man beobachtet, wenn durch ein-axige Krystalle ein polarisirter Strahl nach der Richtung der Axe durchgeht. Brewster hat zuerst diese Ringe durch eine sehr umfassende Untersuchung genau kennen gelehrt, aber Biot und Seebeck haben dieselbe Entdeckung, wenn gleich später, gemacht[1]. Der Doppelspath stellt sie in ausgezeichneter Schönheit dar, aber auch Beryll, Zircon, Saphir, Turmalin und Eis u. a. stellen sie dar. Im Bergkrystall und andern Quarzen verbinden sich damit andere Erscheinungen und deshalb werden diese hier nicht angewandt[2]. Um diese Ringe leicht und vollkommen gut zu sehn, läſst man am liebsten auf eine ziemlich groſse horizontale Glasfläche oder einige auf einander liegende, unbelegte Gläser, deren sämmtliche Oberflächen parallel sind, das Licht auffallen, und nimmt die Stellung des Auges so, daſs es die unter dem Polarisationswinkel zurückgeworfenen Strahlen empfängt. Man stellt dann vor dem Auge eine mit der Axe des Krystalls parallel geschnittene Turmalinplatte so auf, daſs der Lichtstrahl senkrecht auf sie fällt, und giebt ihr, durch Drehung in ihrer Ebene, die Richtung, wobei das reflectirte Licht am meisten verdunkelt erscheint, das ist, wo die Axe des Turmalins in der Vertical-Ebene oder in der Polarisations-Ebene des reflectirten Strahls liegt[3]. Wird dann eine Doppelspathplatte, die senkrecht gegen die Axe geschnitten ist, so daſs sie den polarisirten Strahl senkrecht durchläſst, zwischen dem Spiegel und dem Turmalin gehalten, so sieht man, indem das Auge durch den Turmalin und Doppelspath nach dem Spiegel

---

Untersuchung über die in einigen Kalkspathkrystallen sich zeigenden vielfachen Bilder anführen (Phil. Tr. 1815. p. 270.). Er zeigt, daſs es fremdartige Schichten im Krystall sind, die sie hervorbringen, daſs man künstliche Zwischenschichten machen kann, die im zerschnittenen und wieder zusammengefügten Doppelspathkrystalle eben solche Vervielfachung der Bilder hervorbringen. Die Farben dieser Bilder aber hängen von der Dicke dieser Zwischenschichten ganz nach den hier betrachteten Gesetzen der durch dünne Blättchen hervorgebrachten Depolarisation ab (p. 282). — Hierher gehört auch Brewster's Abh. in d. Phil. Tr. of the Edinb. Soc. VIII. 165.

1 Phil. Tr. 1818. 213. 1814. 202. Biot Traité IV. 542.

2 S. nr. 114.

3 Vergl. nr. 29.

Digitized by Google

blickt, die glänzendsten Farbenringe mit einem schwarzen Kreuze durchschnitten, dessen einer Arm in der Reflexions-Ebene oder der Ebene der ursprünglichen Polarisation, der andere senkrecht gegen diese Ebene ist, so wie dieses die Zeichnung darstellt. Fig. 94.

Diese Erscheinung bleibt ganz ungeändert, wenn man auch den Kalkspath in seiner Ebene dreht, und wenn die Axe des Krystalles wirklich senkrecht gegen die Platte ist, so kann es auch nicht anders seyn, da die Erscheinungen nach allen Richtungen von der Axe aus gleich seyn müssen. Die Ringe sind genaue Kreise, deren mittlern Raum das Schwarz bedeckt, welches auch die Winkel zwischen den Armen des Kreuzes ausfüllt. An dieses Schwarz in der Mitte grenzt ein dunkelblauer Rand, hieran Weiſs, das in gelbliches Weiſs übergeht, und dann Farbenkreise in der Ordnung, wie wir sie bei den Newton'schen Farbenringen [1] kennen. Eben diese mit den Newton'schen Ringen übereinstimmende Folge der Farben findet bei Beryllplatten und Turmalinplatten, die senkrecht auf die Axe geschnitten sind, und bei Platten rein gefrornen Eises statt, wenn man sie statt des Kalkspathes anwendet. Manche andere Krystalle weichen hiervon ab, wie nachher erwähnt werden soll.

72. So zeigen sich die Erscheinungen, wenn die Turmalinplatte ihre Axe in der Reflexions-Ebene hat. Stellt man diese Axe senkrecht gegen die Reflexions-Ebene, so treten in jedem einzelnen Puncte die Ergänzungsfarben hervor; das Kreuz ist weiſs, der Raum, welcher in den Winkeln des Kreuzes vorhin vier weiſse Kreistheile zeigte, bietet nun schwarze Flecke dar, die da in Blau übergehn, wo das Weiſs vorhin in Gelb überging, und auch in den Ringen selbst ist diese Umkehrung eingetreten, wie es die Zeichnung darstellt. Will man diese Fig. 95. Umkehrung entstehen sehn, so ist es am besten, zuerst die Turmalinplatte wieder so zu stellen, daſs das schwarze Kreuz sich vollkommen zeigt, und sie dann nach und nach zu drehen. Hat man die Axe des Turmalins nur erst wenig von der Reflexions-Ebene entfernt, so wird das Schwarz des Kreuzes etwas minder dunkel, und wenn man etwas weiter fortdreht, so treten in diesem Raume Theile farbiger Ringe hervor, deren jeder in einem bestimmten Abstande vom Mittelpuncte die Ergänzungsfarbe

1 S. Art. *Anwandelungen.*

zu derjenigen zeigt, die in den vorigen Ringen in eben dem Abſtande von der Mitte vorkam. Die farbigen Kreiſe Fig. 96. beſtehn dann aus acht Stücken, deren vier zwiſchen den aus dem ſchwarzen Kreuze hervorgegangenen Stücken noch die zuerſt beobachteten Farben, aber bläſſer, mit Weiſs gemiſcht, zeigen, ſtatt daſs die ſtatt des ſchwarzen Kreuzes entſtandenen Bogen mit den Ergänzungsfarben zu den Kreiſen, deren Theile ſie ausmachen, hervortreten. Die Kreiſe, welche dort die dunkelſten Farben zeigen, treffen in den aus dem ſchwarzen Kreuze entſtandenen Theilen auf die hellſten Farben und umgekehrt; in der Gegend aber, wo dieſe ungleich gefärbten Bogen an einander grenzen, iſt ein kleiner verwaſchener, weiſslicher Zwiſchenraum. Hat man die Axe des Turmalin's 45° von der Ebene der urſprünglichen Polariſation entfernt, ſo ſind jene acht Theile gleich, die farbigen Kreiſe zeigen im erſten, dritten, fünften, ſiebenten Octanten die einen, in den dazwiſchen liegenden Octanten die andern Farben, und die ſehr ſchmalen weiſslichen Uebergangsräume ſtellen ſich als acht gleich gegen einander geneigte Radien dar. Bei dieſer Drehung des Turmalins ſind nun zwar die aus dem ſchwarzen Kreuze entſtandenen Farbenbogen dieſer Drehung gefolgt, aber ſo, daſs ihre Mitte nur um $\frac{1}{2}\alpha$ fortgerückt iſt, wenn der Turmalin um den Winkel α gedreht iſt; hatte alſo das ſchwarze Kreuz zwei verticale und zwei horizontale Arme, als $\alpha = 0$ war, ſo liegt die Mitte der aus demſelben hervorgegangenen Octanten auf 22° 30′ von der Verticallinie und von der Horizontallinie, wenn $\alpha = 45°$ iſt. Erſt dann, wenn $\alpha = 90°$ wird, haben die neu entſtandenen Farben die Quadranten ſo eingenommen, daſs ihre Mitte in 45° liegt, und ein weiſses Kreuz mit horizontalen und verticalen Armen durchſchneidet ſie, wie ich ſchon früher bemerkt habe[1].

1 Schon bei dieſem einfachen Verfahren ſieht man eine groſse Anzahl von Farbenringen; will man aber auch die entfernteren erkennen, die bei dieſer Beobachtungs-Art unſichtbar werden, weil die Miſchung aller Farben ein faſt gleichförmiges Weiſs hervorbringt (ſ. Art. *Anwandelungen* S. 303. 314.), ſo kann man ſich entweder des Prisma's bedienen, ſo wie Newton es anwandte, um bei den von ihm beobachteten Farbenringen die entferntern noch zu erkennen (Opt. Lib. 2. Obs. 24), oder man kann eine andere mit der Axe doppelter Brechung parallel geſchnittene Platte zwiſchen den Spiegel und die ſenkrecht gegen die Axe geſchnittene Platte bringen, und ſieht dann die

73. Ich habe bisher stets die Turmalinplatte angewandt, weil mit ihr am bequemsten der Versuch anzustellen ist, und die Farben, wenn der Turmalin nicht selbst zu sehr eine Färbung hineinbringt, sich sehr schön darstellen. Man kann sich aber auch eines Doppelspathprisma's bedienen, und hat da den Vorzug, zwei Bilder mit den entgegengesetzten Farbensystemen zugleich zu sehn. Mit einem nicht zum Prisma gebildeten Doppelspathe erhält man beide Bilder nicht weit genug getrennt. Hier zeigt nun, wenn der Hauptschnitt des Krystalls in der ursprünglichen Polarisations-Ebene liegt, das ungewöhnliche Bild Farbenringe mit dem schwarzen Kreuze, das gewöhnliche Bild die Ergänzungsfarbenringe mit dem weiſsen Kreuze, und bei der Drehung des Doppelspaths gehn die Farbenringe in die entgegengesetzten über, so wie die Zeichnung Fig.
es darstellt. Auch eines zweiten Spiegels kann man sich, wie 96.
bei dem Polarisations-Instrumente bedienen. Ist dann die gegen die Axe senkrecht geschnittene Doppelspathplatte dem polarisirten Strahle so ausgesetzt, daſs dieser nach der Richtung der Axe durch sie geht, und der zweite Spiegel auf den Polarisationswinkel gestellt, so sieht man, wenn der Spiegel auf der Drehungsstellung $=90°$ steht, das schwarze Kreuz mit den zugehörigen Farbenringen, bei der Drehung auf $0°$ das weiſse Kreuz mit den zugehörenden Farbenringen[1]. Diese Beobachtungs-Arten sind die bequemsten; aber Brewster hat ein Verfahren angegeben, den Versuch auch da anzustellen, wo sich die Krystalle nicht gut nach einer auf die Axe senkrechten Richtung schneiden und poliren lassen. Ich will den unzerschnittenen Doppelspath als Beispiel nehmen, in welchem die Axe doppelter Brechung einen Winkel von 45° 23′ mit der Oberfläche macht. Wenn man auf die Seitenflächen dieses Krystalls Flintglasprismen E F B, G H D, deren Winkel Fig.
E B F $=$ G D H etwas gröſser als 45,°5 ist, so setzt, daſs ihre 97.
Seitenlinien senkrecht gegen den Hauptschnitt sind, in welchem L M die Richtung der Axe ist, so geht ein von A senk-

---

entferntern Ringe hervortreten. Brewster hat dazu eine Bergkrystallplatte angewandt (Phil. Tr. 1818. 219); eine Beryllplatte ist ebenso brauchbar, auch dickere Gypsplatten.

1 Um die Beobachtung mit Hülfe des zweiten Spiegels bequem anzustellen, hat Airy eine verbesserte Einrichtung vorgeschlagen. Poggend. XXIII. 261.

Digitized by Google

recht auf EB einfallender Strahl fast genau nach der Richtung der Axe des Krystalls durch denselben, und ein Auge bei C sieht (wenn der einfallende Strahl polarisirt war und bei C durch eine Turmalinplatte geht) die Ringe vollkommen gut, wenn die Prismen mit einer das Licht ungefähr ebenso stark, als sie selbst brechenden, durchsichtigen Materie auf den beiden Oberflächen befestigt sind.

74. Um diese Ringe zuerst in Rücksicht auf ihre Farben genauer kennen zu lernen, ist die wichtigste Bemerkung die, daſs bei homogenem Lichte die hellen Ringe des ungewöhnlichen Bildes in eben den verhältniſsmäſsigen Entfernungen vom Mittelpuncte vorkommen, wie in den durch Zurückwerfung entstehenden Newton'schen Farbenringen, indem, wenn ϑ der scheinbare Abstand eines Ringes vom Mittelpuncte ist, $\text{Sin.}^2\vartheta$ bei dem ersten, zweiten, dritten, gleichfarbigen Ringe Werthe erhält, die den Zahlen 1, 3, 5 u. s. w. proportional sind. In den Fällen, von denen ich jetzt nur reden will, findet ferner das statt, daſs, wenn man Licht von verschiedenen Farben auffallen läſst, sich $\text{Sin.}^2\vartheta$. ebenso ändert, wie es bei den Newton'schen Farbenringen der Fall ist, und wir können daher, wenn n h eine Zahl der Newton'schen Tafel ist, diese als durch $\text{Sin.}^2\vartheta$. angegeben ansehen; das heiſst, wenn h eine constante Zahl ist, und man hat für den ersten Farbenring einer bestimmten Farbe $\frac{\text{Sin.}^2\vartheta}{h} = \frac{1}{2}$, so ist für den zweiten $\frac{\text{Sin.}^2\vartheta}{h} = \frac{3}{2}$; für den dritten $\frac{\text{Sin.}^2\vartheta}{h} = \frac{5}{2}$ u. s. w.; und wenn man für eine andere Farbe die verhältniſsmäſsige Zahl aus der Newton'schen Tafel statt $n = \frac{1}{2}$ nimmt, so erhält man für diese Farbe den Werth von ϑ aus eben der Formel. Ist z. B. für das äuſserste Roth $n.h = \frac{1}{2}h$ im ersten Ringe, so müſste man den dritten violetten Ring durch $\text{Sin.}^2\vartheta = 1{,}57.\ h$ erhalten, weil diese Ringe den Zahlen 6,35 und 20,0, entsprechen[1], und bei den, aus Weiſs hervorgehenden, gemischten Farben müſste man nach Newton's Tafel[2] ebenso rechnen[3].

Diese Regel gilt, so lange der Winkel ϑ klein genug

1 Vergl. Art. *Anwandelungen*. Th. 1. S. 312.
2 Opt. Lib. 2. Part. 2.
3 Brewster in Phil. Tr. 1818. 1236.

bleibt, um den Weg des Lichtſtrahls in der doppelt brechenden, ſenkrecht gegen die Axe geſchnittenen Platte als in allen Fällen gleich anzuſehn. Aber für gröſsere Winkel ϑ und für Platten von ungleicher Dicke, iſt $\text{Sin.}^2\,\vartheta$ zugleich dem in der Platte durchlaufenen Wege umgekehrt proportional, ſo daſs, wenn r die Dicke der Platte, ϱ der Winkel iſt, unter welchem der Weg des Lichtſtrahls innerhalb der Platte gegen die Axe der Platte geneigt iſt, $\text{Sin.}^2\,\vartheta = \frac{n\,h}{r\,.\,\text{Sec.}\,\varrho}$ wird, wenn immer von Platten derſelben Art die Rede iſt. Uebrigens iſt ϱ, obgleich der Strahl eigentlich ein doppelter iſt, hier ſo wenig verſchieden für beide, daſs die Wege $= r\,.\,\text{Sec.}\,\varrho$, als gleich können angeſehn werden.

Es iſt bekannt, daſs der nach der Richtung der Axe des Kryſtalls durchgehende Strahl gar keine Brechung und keine Spaltung in zwei Strahlen erleidet; aber der in der Richtung AO zum Auge kommende Strahl, für welchen $AOD = \vartheta$ Fig.
die Neigung gegen die Axe iſt, muſs als aus zwei Strahlen 98.
beſtehend angeſehen werden, deren Geſchwindigkeiten in der Platte ungleich waren, $= v$ und $= v'$. Nun iſt bei der doppelten Brechung $v'^2 - v^2 = k.\ \text{Sin.}^2\,\vartheta$ und k eine conſtante Zahl; daher wenn t, t' die innerhalb der Platte zugebrachten Zeiten ſind, $r.\ \text{Sec.}\,\varrho = v\,t = v'.t'$,

$$\text{alſo } v'^2 - v^2 = r^2\,\text{Sec.}^2\,\varrho\,\left(\frac{1}{t'^2} - \frac{1}{t^2}\right)$$
$$= \frac{r^2.\text{Sec.}^2\,\varrho\,(t - t')\,(t + t')}{t^2.t'^2}$$

oder weil hier $t + t'$ ſo nahe $= 2t$ iſt, daſs man $\frac{t + t'}{t^2.t'^2} = \frac{2}{t^3}$

und daher $k.\text{Sin.}^2\,\vartheta = \frac{2.r^3\ \text{Sec.}^3\,\varrho}{t^3} \cdot \frac{(t - t')}{r\,\text{Sec.}\,\varrho} = \frac{2v^3\ (t - t')}{r\,\text{Sec.}\,\varrho}$

ſetzen kann, ſo iſt offenbar nh dem Werthe von $t - t'$ proportional oder die Ringe gehn da hervor, wo die Voreilung des einen Strahls vor dem andern $= t - t'$, die vorhin für nh angezeigte Uebereinſtimmung mit den Zahlen jener Tafel hat. Die in dem ungewöhnlichen Bilde ſichtbaren Ringe mit dem ſchwarzen Kreuze gehn alſo da hervor, wo die beiden Strahlen um eine oder drei oder fünf u. ſ. w. halbe Undulationen einander vorausgeeilt ſind. Hieraus läſst ſich auch überſehn,

daſs, wie es der Versuch zeigt, die Ringe kleiner werden, wenn man aus demselben Krystalle dickere Platten senkrecht auf die Axe geschnitten nimmt. Denn t—t' erhält schon für kleinere Werthe von ϑ den einer halben Undulation, drei halben Undulationen u. s. w. entsprechenden Werth, wenn r gröſser ist. Aus eben dem Grunde verkleinern sich die Ringe, wenn man zwei Platten gleichartiger oder wenigstens zu derselben Classe — der negativen oder der positiven — gehörender Krystalle vereinigt, weil da die im einen Krystalle entstandene Voreilung sich im andern vergröſsert; dagegen vergröſsern sich die Ringe, die man durch die eine Krystallplatte wahrgenommen hatte, durch Hinzufügung einer Platte von entgegengesetzter Art, weil da die vom einen Strahle gewonnene Voreilung durch die nun entstehende Voreilung des andern vermindert wird, also die bestimmte Gröſse der Voreilung, die zur Bildung eines gewissen Ringes erforderlich ist, erst in gröſserer Entfernung von der Axe statt findet.

75. Auch diese Farben hat Biot nach seiner Theorie der beweglichen Polarisation, wo die Oscillationen der Lichttheilchen in eben solchen gleichen Perioden wiederkehren, wie die Undulationen in der andern Theorie, erklärt; aber um nicht zu ausführlich zu seyn, theile ich hier nur Fresnel's Erklärung dieser Erscheinungen mit.

Es ist offenbar, daſs diese Erklärung wieder darauf beruhen muſs, daſs in der gegen die Axe senkrecht geschnittenen Krystallplatte jeder nicht völlig mit der Axe parallele Strahl in zwei entgegengesetzt polarisirte gespalten wird, daſs diese zwei Strahlen in dem Doppelspathe oder in der Turmalinplatte aufs neue gespalten, zwei Paare von Strahlen geben, deren jedes zwei der Interferenz fähige Strahlen enthält, und daſs diese Interferenzen von der Voreilung t—t' in der Krystallplatte abhängen. Im Turmalin wird eines dieser Paare von Strahlen am Durchgange gehindert und nur das andere bleibt sichtbar. Nach den früher angegebenen Bestimmungen muſs nun die verstärkende Interferenz bei dem Voreilen um eine ganze Undulation eintreten, wenn die entgegengesetzt polarisirten Strahlen im Doppelspathe oder Turmalin auf eine und dieselbe mittlere Richtung der Polarisation zurückgeführt werden, und die verstärkende Interferenz muſs bei dem Voreilen um eine halbe Undulation eintreten, wenn die Zurückführung

auf einerlei Polarisations-Ebene dadurch geschieht, dafs die Strahlen zu Richtungen der Polarisation übergehn, die um 180° verschieden sind[1]. Es sey also zuerst die Axe des Turmalin's in die ursprüngliche Polarisations-Ebene, bei der Zurückwerfung vom Spiegel in die Vertical-Ebene, gestellt, wo sie die in dieser Ebene polarisirten Strahlen nicht durchläfst. PP′ sey Fig. 93.
diese Ebene; C sey der Punct, den das Auge als Mittelpunct der Ringe sieht, und O sey ein um den Winkel PCO = i von jener Ebene entfernter Punct in den Farbenringen, auf welchen das Auge gerichtet wird. Da die Axe des Krystalls in C gerade gegen das Auge gerichtet ist, so zerspaltet sich der von O herkommende polarisirte Strahl in einen gewöhnlich gebrochenen nach CO polarisirt, und in einen ungewöhnlich gebrochenen parallel mit CE polarisirt. Beide Strahlen erleiden bei dem Eindringen in den Turmalin eine neue Spaltung, so dafs der erstere CO in einen abermals gewöhnlich gebrochenen nach CP polarisirten, und in einen ungewöhnlich gebrochenen nach CQ polarisirten Theil zertheilt wird, von dem zweiten, nach CE polarisirten, Strahle dagegen wird der jetzt gewöhnlich gebrochene Theil nach CP, der jetzt ungewöhnlich gebrochene Theil nach CQ′ polarisirt. Bei der angenommenen Stellung des Turmalin's werden die nach CP polarisirten Theile nicht durchgelassen und wir sehen die nach CQ und CQ′ polarisirten Theile. Diese zeigen sich uns vermöge verstärkender Interferenzen da, wo die Voreilung der Undulationen des einen Strahls vor dem andern eine oder drei oder fünf oder sieben halbe Undulationen beträgt, gerade so, wie es sich in der Erfahrung zeigt. Ist statt des Turmalin's ein Doppelspath mit seinem Hauptschnitte nach CP gerichtet aufgestellt, so gehn wirklich vier Strahlen hervor, deren zwei nach CP polarisirt in dem gewöhnlich gebrochenen Bilde vereinigt sind, zwei nach CQ, CQ′ polarisirte in dem ungewöhnlich gebrochenen Bilde. In jenem Bilde erscheint also eine bestimmte Farbe allemal da, wo die Voreilung der Undulationen eine ganze Undulation beträgt, und gerade in dieser Entfernung erscheint eben die Farbe gar nicht im andern Bilde, weil dort eine halbe Undulation verloren geht, und daher die Interferenz da eine auslöschende ist, wo sie in jenem Bilde eine verstärkende war.

---

1 Vergl. nr. 69.

Die Entſtehung des ſchwarzen Kreuzes läſst ſich ebenfalls leicht erklären. Richten wir unſer Auge nach P, nach einem Puncte in der urſprünglichen Polariſations-Ebene, ſo iſt der von P kommende Strahl auch nach dem Durchgange durch den Kryſtall noch immer ganz in eben der Ebene polariſirt, es findet keine Zerſpaltung in zwei Strahlen ſtatt, und dieſer Strahl wird alſo nicht vom Turmalin durchgelaſſen, die ganze Gegend in der urſprünglichen Polariſations-Ebene iſt dunkel und bildet die beiden verticalen Arme des ſchwarzen Kreuzes. Dagegen, wenn wir unſer Auge nach Q richten, wo $i = 90°$ iſt, ſo wird der ganze von Q kommende Strahl in der Kryſtallplatte ungewöhnlich gebrochen, und behält ſeine Polariſation, ſo daſs auch er nicht von der Turmalinplatte durchgelaſſen wird, und alle Puncte in der gegen die erſte Polariſations-Ebene ſenkrechten und durch die Mitte der Ringe gehenden Ebene dunkel erſcheinen und in unſerm Verſuche die zwei horizontalen Arme des ſchwarzen Kreuzes darſtellen. Im Allgemeinen nämlich iſt des durch den Kryſtall gewöhnlich gebrochenen und nach dem Radius CO polariſirten Strahls Intenſität $= A. \cos.^2 i$, und dieſe verſchwindet für $i = 90°$, dagegen wird die auf den Radius, in welchem der betrachtete Punct O ſich befindet, ſenkrecht polariſirte Lichtmenge, das heiſst für $PCO = i = 90°$ diejenige Lichtmenge, die nach PC polariſirt bleibt, in dieſem Falle der ganzen urſprünglichen Lichtmenge $= A$ gleich, aber da dieſe nicht durchgelaſſen wird, ſo ſieht man die horizontalen Theile des Kreuzes dunkel. Iſt es ein Doppelſpath, den man ſtatt des Turmalin's gebraucht, ſo gehn in den eben betrachteten Fällen gar keine Strahlen in das ungewöhnliche Bild über und dieſes hat ein ſchwarzes Kreuz, wogegen alle Strahlen in das gewöhnliche Bild übergehn, welches daher ein weiſses Kreuz zeigt.

Hat der Turmalin ſeine Axe ſenkrecht gegen die urſprüngliche Polariſations-Ebene, ſo zeigen ſich in jedem Puncte die Ergänzungsfarben und das weiſse Kreuz, indem jetzt die in der Ebene CP polariſirten Strahlen ſichtbar werden. Aber auch für jede ſchiefe Stellung der Turmalinplatte läſst ſich die Entſtehung der Theile beider Arten von Farbenringen erklären. Es ſey CP noch immer die Ebene der urſprünglichen Polariſation, CO derjenige Radius des Farbenringes, auf welchen wir unſer Auge richten, CS die Richtung der Axe des Turmalin's;

Digitized by Google

es sey $PCS = \alpha$, $PCO = i$. Indem der nach CP polarisirte Strahl die Krystallplatte trifft, wird er in zwei Strahlen nach CO und CE′ polarisirt gespalten; aus diesen beiden gehn beim Eintritte in den Turmalin vier Strahlen hervor, unter denen aber nur die zwei zum Auge gelangen, die nach CT oder CT′, nämlich senkrecht gegen die Axe des Turmalin's polarisirt sind. Für den Fall da $\alpha < i$ und beide kleiner als 90° sind, entstehen aber die im Turmalin ungewöhnlich gebrochenen zwei Strahlen so, daſs CO in CS, CT, und CE in CS, CT′ zerlegt wird; also sind die beiden interferirenden ungewöhnlich gebrochenen Strahlen diejenigen, bei denen eine halbe Undulation verloren geht, das heiſst in den Puncten des ersten Quadranten, die entfernter als die Axe des Turmalin's von der ursprünglichen Polarisations-Ebene liegen, gehen eben die Farben hervor, die vorhin das schwarze Kreuz begleiteten. Ist dagegen $i < \alpha$, wie es der Fall wäre, wenn CO die Axe des Turmalin's, S der ins Auge gefaſste Punct ist; so zerlegt sich im Krystalle der nach CP polarisirte Strahl nach den Richtungen CS, CT′, und da im Turmalin der Strahl CS nach den Richtungen CO, CE′, der Strahl CT′ nach den Richtungen CO′, CE′ zerlegt wird, also die vom Turmalin durchgelassenen Strahlen sich in der gleichen Richtung CE′ der Polarisation vereinigt haben, so sehen wir dort die Farben, die da, wo keine halbe Undulation verloren geht, sich zeigen, das ist, in Puncten, die weniger als die Axe des Turmalin's von der ursprünglichen Polarisations-Ebene entfernt sind, erscheinen die Ergänzungsfarben zu denen, welche für $i > \alpha$ statt fanden. Eine ähnliche Betrachtung gilt für alle Quadranten.

Richten wir unser Auge, indem CS die Richtung der Axe des Turmalin's ist, gerade nach P, so ist der von P ausgegangene Strahl in der Krystallplatte ungespalten geblieben, und indem er durch den Turmalin geht, ist der dort durchgelassene, ungewöhnlich gebrochene Strahl nur *einer*, so daſs keine Interferenzen statt finden, und hier bloſs weiſses Licht erscheint. Dagegen wenn von S Licht ausgeht und CS die Axe des Turmalin's ist, so waren zwar in der Krystallplatte zwei entgegengesetzt polarisirte Strahlen entstanden, aber diese behalten im Turmalin ihre Polarisation und es ist daher auch hier keine Veranlassung zu Interferenzen, sondern der mit der Axe des Turmalin's übereinstimmende Radius erscheint in weiſs-

lichem, farbenlosem Lichte. Eben das gilt für alle acht oben erwähnten Radien.

Die Anwendung auf die im Doppelspathe oder im zweiten Spiegel sichtbaren Bilder läſst sich hieraus leicht ableiten.

76. Will man die Intensität des Lichts in den verschiedenen Puncten bestimmen, so sey CP die Richtung der ursprünglichen Polarisation, CS die Richtung der Axe des Turmalin's, O ein Punct, für den die Intensität des Lichts bestimmt werden soll, $PCS = \alpha$, $PCO = i$. Nenne ich nun Fo, Fe die Intensitäten der in dem Krystalle hervorgegangnen Strahlen, so ist $Fo = A. \text{Cos.}^2 i$ und $Fe = A. \text{Sin.}^2 i$; aus dem ersten geht ein im Turmalin ungewöhnlich gebrochener Strahl $Foe = A. \text{Cos.}^2 i. \text{Sin.}^2 (i - \alpha)$, aus dem zweiten ein ungewöhnlich gebrochener Strahl $Fee = A. \text{Sin.}^2 i. \text{Cos.}^2 (i - \alpha)$ hervor, die Summe beider

$$= A. [\text{Cos.}^2 i. \text{Sin.}^2 (i - \alpha) + \text{Sin.}^2 i. \text{Cos.}^2 (i - \alpha)]$$

ist die Intensität des uns durch den Turmalin sichtbar werdenden Strahls, und diese ist am kleinsten, wenn $2i = \alpha$ und am gröſsesten, wenn $2i = 90^0 + \alpha$; es ist also bei einer Abweichung der Axe des Turmalin's von der ursprünglichen Polarisations-Ebene die Intensität des Lichts am kleinsten in der Mitte der aus dem schwarzen Kreuze hervorgegangnen Farben und am gröſsten da, wo $i = 45^\circ + \frac{1}{2}\alpha$ ist, in der Mitte der in den übrigen Kreistheilen sichtbaren Farben. Die Gleichungen für das Maximum und Minimum sind $\text{Cos.} (4i - 2\alpha) = -1$ und $= +1$. Für $\alpha = 0$ findet das erstere statt, wenn $i = 45^\circ$, $i = 135^\circ$, $i = 225^\circ$, $i = 315^\circ$ ist, und das letztere für $i = 0$, $i = 90^\circ$, $i = 180^\circ$, $i = 270^\circ$. Für $\alpha = 90^\circ$ ist es umgekehrt, für $\alpha = 45^\circ$, wo die Octanten wechselnde Farben zeigen, trifft das Maximum der Intensität auf $67^\circ{,}5$, $157^\circ{,}5$ u. s. w., das Minimum auf $22^\circ{,}5$, $112^\circ{,}5$ u. s. w.

77. Hiermit wäre die ganze Erscheinung erklärt, wenn die Ordnung der Farben sich ganz streng an die Farbenfolge der Newton'schen Ringe hielte. Im Doppelspathe, der senkrecht auf die Axe geschnitten ist, verhält es sich so, und hier ergiebt sich daher, wenn man den Winkel ϑ für *einen* Farbenstrahl im ersten, zweiten, dritten Kreise kennt, auch der Werth von ϑ für jeden andern, indem man aus der Ungleichheit der Länge der Undulationen (oder Anwandelungen in der Newton'schen Theorie) das Verhältniſs kennt, in welchem $t - t'$

für jede zwei Strahlen stehn muſs, um die Interferenzen hervorzubringen. Aber nicht alle einaxige Krystalle geben die Folgen der Farbenringe genau jenem Gesetze entsprechend, sondern Herschel sowohl als auch Brewster haben mehrere gefunden, deren Farbenringe jener bestimmten Ordnung nicht entsprechen. So führt Herschel eine sehr gewöhnliche Varietät des Apophyllits an, in welcher, wenn man das Experiment mit homogenem Lichte anstellte, die Halbmesser der farbigen und der dunkeln Ringe fast ganz gleich blieben, es mochte der einfache Farbenstrahl in der einen oder andern Gegend des prismatischen Farbenbildes liegen; die im grünen Strahle hervorgehenden Ringe waren etwas kleiner, die blauen und indigoblauen ganz gleich, die violetten ein wenig gröſser als die rothen. Dieses nahe Zusammenstimmen für alle Farben bewirkte, daſs auch im weiſsen Lichte die hellen Ringe fast ganz weiſs, die dunkeln Ringe fast ganz schwarz waren, und daſs man eine viel gröſsere Zahl von Ringen sah (mehr als 35), als es sonst im weiſsen Lichte gewöhnlich ist. Bekanntlich würde die Zahl der Ringe bei ganz vollkommener Uebereinstimmung für alle Farben unermeſslich groſs werden, aber die entferntern Ringe liegen einander sehr nahe.

Einen noch merkwürdigern Fall erzählt Herschel von einem andern Apophyllite. Nach dem Gesetze der Newton'schen Farbenringe und nach der Länge der Undulationen sind die Farbenringe für die stärker brechbaren Farben immer kleiner; hier hingegen nahmen sie vom Roth bis zu den Strahlen von mittlerer Brechbarkeit an Gröſse zu, für die indigoblauen Strahlen erkannte man sie gar nicht, für das Violett hingegen waren sie wieder kleiner, wenn sie gleich die rothen Kreise noch an Gröſse übertrafen. Daher schloſs sich, wenn man die Ringe in weiſsem Lichte darstellte, an das Schwarz in der Mitte ein rother, orange, gelber, grüner und in schmuzig Blau übergehender Ring als erste Farbenfolge an, dann Purpur, Roth mit Uebergang zum Gelb, gelblich weiſs, bläulich Grün, unreines blasses Blau, als zweite Farbenfolge, und endlich blasses Purpur, blasses Roth, Weiſs und sehr blasses Blau als letzte, dritte Farbenfolge[1].

Herschel knüpft hieran die Bemerkung, daſs in dem zu-

---

1 Ph. Tr. 1820. 93. und Herschel vom Lichte. §. 915.

Digitized by Google

letzt erwähnten Falle die doppelte Brechung für alle Strahlen, nur nicht für das Indigoblau statt fand, und daſs die Geschwindigkeiten beider Strahlen eine Differenz mit entgegengesetztem Zeichen für die Farben dieſseits und jenseits das Indigoblau gaben. Sieht man nämlich den Unterschied der Quadrate beider Geschwindigkeiten, der durch doppelte Brechung entstandenen Strahlen, $v'^2 - v^2$, als Maſs der Stärke der doppelten Brechung an, so ist, wie wir oben (nr. 74.) sahn, $v'^2 - v^2 = k. \mathrm{Sin.}^2 \vartheta$, und k kann als Maſs der specifischen Stärke der doppelten Brechung angesehn werden. $v'^2 - v^2$ war dem Unterschiede der Zeiten $t' - t$, oder dem Verzögerungsraume der Voreilung des einen Strahls vor dem andern, proportional, und k ist also dem $t' - t$ direct und der Gröſse von $\mathrm{Sin.}^2 \vartheta$ umgekehrt proportional; je gröſser die Ringe von gleicher Farbe, desto kleiner die specifische doppelt brechende Kraft. Diese ist also sehr klein bei so ungemein groſsen Farbenringen, und in dem eben angeführten Falle müſste man sagen, daſs, obgleich der Krystall sich doppelt brechend zeigte für alle andern Farbenstrahlen, er doch für das Indigoblau nur als einfach brechend anzusehn war, bei dem darüber hinausliegenden Violett aber eine entgegengesetzte Differenz der Geschwindigkeiten statt fand.

Diese Abweichungen, deren Herschel später noch mehrere eben so starke aufgefunden hat [1], sind auffallend, weil sie so groſs sind; aber mit Recht bemerkt Herschel, daſs eine strenge Uebereinstimmung mit jener Newton'schen Scale eigentlich gar nicht angenommen werden könne und nur annähernd bei den Körpern statt finde, wo die Zerstreuung der Farben von geringer Gröſse ist. Nach Newton's Beobachtung nämlich änderte sich die Länge der Anwandelungen in verschiedenen Medien dem Brechungs-Exponenten gemäſs [2], und ebenso hängt in der Undulationstheorie die Länge der Undulationen vom Brechungs-Exponenten ab; dieser ist aber bekanntlich nicht allein ungleich für verschiedene Farbenstrahlen, son-

---

1 Transact. of the Cambridge philos. Soc. Vol. 1. Part. I. p. 21. Hier kommen Versuche mit einem Apophyllit vor, der in zwei Stücke gespalten, in jedem Stücke andere Einwirkungen der brechenden Kräfte auf die einzelnen Farben zeigte. S. auch ebendas. Part. II. p. 241.

2 Art. *Anwandelungen* S. 316.

Digitized by Google

dern auch in sehr verschiedenem Verhältnisse ungleich für dieselben Farbenstrahlen in verschiedenen Medien, also kann die von einem einzigen Falle hergenommene Bestimmung nur so lange auch für andere Fälle zutreffen, als diese Ungleichheiten nicht bedeutend genug werden, um sehr kenntlich zu seyn. Sehr wichtig sind daher in dieser Beziehung Rudberg's Untersuchungen[1] über die Zerstreuung des Lichts in beiden Strahlen doppelt brechender Krystalle. Diese zeigen, daſs die Brechung des gewöhnlichen und des ungewöhnlichen Strahls in ungleichem Maſse bei den verschiedenen Farbenstrahlen von einander abweicht, so daſs also in allen doppelt brechenden Körpern jeder Farbenstrahl seinen eigenen Grad doppelter Brechung hat. Diese Versuche sind mit Bergkrystall und mit Doppelspath, ferner mit Arragonit, und Topas angestellt; ihre Resultate genau anzugeben, liegt auſser den Grenzen, die ich mir hier setzen muſs, und ich bemerke daher nur, daſs man mit Rücksicht auf diese Ungleichheit den Verzögerungsraum würde berechnen müssen, wenn man die Ringe genau beurtheilen wollte.

78. Aehnliche Erscheinungen, aber von noch mehr verwickelter Art, zeigen nun auch die doppelt brechenden Krystalle mit zwei Axen. Brewster hat zuerst[2] diese Erscheinungen wahrgenommen und die Gesetze, nach welchen sie entstehn, sogleich sehr sorgfältig angegeben.

Daſs gewisse Krystalle zwei Axen haben, erkennt man daran, daſs sich in ihnen nicht eine, sondern zwei Richtungen finden, nach welchen der Strahl durchgehn kann, ohne doppelt gebrochen zu werden, obgleich in allen andern Richtungen die doppelte Brechung statt findet[3]. Und in eben diesen zwei Richtungen kann ein polarisirter Strahl durch sie gehn, ohne seine Polarisation zu ändern. Wenn eine Platte senkrecht auf eine dieser Richtungen geschnitten ist, so bleibt der an irgend einer Stelle der Platte senkrecht durchgehende polarisirte Strahl so polarisirt, wie er es früher war, und wenn

1 Poggd. Ann. XIV. 45. XVII. 1.

2 Philos. Tr. 1814. 202. 1818. 221.

3 Merkwürdige Versuche, die eine neue Bestätigung der Undulationstheorie darbieten, giebt Lloyd in Phil. Magaz. 1833. Febr. March. p. 112. 207.

Digitized by Google

die Turmalinplatte mit ihrer Axe in der Ebene der Polarisation gehalten, den Strahl aufnimmt, so läſst sie ihn nicht durch, und das Auge sieht hier einen dunkeln Fleck; die etwas von der senkrechten Richtung abweichenden Strahlen aber sind auf ähnliche Weise, wie bei einaxigen Krystallen anders polarisirt und bieten ein System von Farbenringen dar. Bei einigen zweiaxigen Krystallen machen die zwei Richtungen, welche diese Eigenschaft haben und die wir die *optischen Axen* nennen, groſse Winkel, selbst bis zu 90° mit einander; dagegen aber giebt es auch Krystalle, deren optische Axen nur wenige Grade gegen einander geneigt sind, z. B. beim prismatischen Salpeter ist der Winkel der Axen nur 5° 20′, beim kohlensauern Strontian 6° 56′, beim Arragonit 18° 18′. Bei solchen Krystallen ist es vortheilhaft, sie senkrecht gegen die Linie zu schneiden, welche den Neigungswinkel der optischen Axen halbirt; solche Platten setzt man hier voraus, und die Verbindung beider die zwei Axen umgebenden Ringsysteme zeigt sich sehr gut bei diesen Krystallen, wo die Axen einen nur kleinen Winkel mit der Mittellinie machen.

Bedient man sich nämlich dann, ebenso wie bei den vorigen Versuchen, einer horizontalen Glasplatte, die polarisirte Strahlen zurückwirft, und sieht durch eine gehörig gehaltene Turmalinplatte so auf die Krystallplatte, daſs die Gesichtslinie mit der Richtung der einen Axe der letztern zusammenfällt, oder daſs die Gesichtslinie mit der andern Axe zusammenfällt, so sieht man die Mitte des einen oder andern Ringsystems, und da in diesem Falle beide in demselben Gesichtsfelde liegen, so übersieht man die gesammten Farbenlinien, mit den sie durchkreuzenden dunkeln oder hellen Linien mit einem Blicke.

79. Herschel hat ein Instrument angegeben, welches hier, wo man die Figur der Farbenringe sorgfältiger bestimmen muſs, vorzüglichen Werth hat, obgleich es auch bei einaxigen Krystallen gut gebraucht werden kann. Der Hauptsache nach besteht es aus zwei Turmalinplatten, zwischen welchen die Krystallplatte ihre Stellung erhält. Der eine dieser Turmaline polarisirt das auf die Krystallplatte fallende Licht und der zweite Turmalin läſst dann, wenn die Axen beider auf einander senkrecht sind, das so polarisirte Licht nicht durch, die durch den Krystall hervorgebrachte Depolarisirung zeigt

sich in den entstehenden Farbenringen. Um aber das Gesichtsfeld gleichmäſsig zu erleuchten, und um durch die in derselben Richtung liegenden Gegenstände nicht gestört zu werden, ist die Glaslinse H angebracht, durch welche die Lichtstrahlen Fig. 99. gehn, ehe sie die erste Turmalinplatte G erreichen; der Brennpunct dieser Linse liegt ungefähr da, wo die Krystallplatte F ihren Platz erhält, und E ist die zweite Turmalinplatte, die nahe an das Auge gehalten wird.

Die Linse und die erste Turmalinplatte sind in eine Messingröhre gefaſst, und eine zweite Röhre, in welcher die erste sich herein- und herausschieben läſst, ist mit der Fassung des zweiten Turmalins verbunden. Die erste Röhre kann ganz aus der zweiten herausgenommen werden, damit man die Krystallplatte F auf der für sie bestimmten Oeffnung befestigen und mit verschiedenen Krystallplatten den Versuch wiederholen könne. Die Oeffnung F befindet sich in der Grundfläche eines kurzen Cylinders cd, dessen Wände sich an die Röhre ABCD anschlieſsen, damit man den Krystall drehen könne, während die Turmalinplatten ihre Stellung behalten. Um diese Drehung zu bewirken, ist dieser kurze Cylinder mit einem Ansatze e versehn, der sich in einem durch etwa 120° gehenden Einschnitte der äuſsern Röhren herumschieben läſst. So ist man im Stande, während der erste Turmalin seine Stellung ungeändert behält, erstlich den Krystall in alle erforderliche Stellungen, so daſs seine zwischen beiden optischen Axen gezogene Linie mit der Axe des ersten Turmalin's zusammenfällt, oder sich bis auf 90° und mehr von derselben entfernt, zu bringen, und zweitens bei jeder gewählten Stellung des Krystalls die Axe des zweiten Turmalin's in alle verschiedene Richtungen zu stellen.

Dieses Instrument ist aber nicht bloſs bequem, um die Farbenringe zu sehn, indem man das Auge an den zweiten Turmalin bringt, sondern man kann auch, wenn im finstern Zimmer ein Sonnenstrahl auf die Linse H fällt, die Farbenringe auf einer vor E in mäſsiger Entfernung gehaltenen weiſsen Tafel projicirt darstellen.

80. Um das System dieser Farbenringe genau kennen zu lernen, werde ich zuerst die Gestalt jedes einzelnen gleichfarbigen Ringes betrachten, dann auf die dunkeln oder hellen Linien kommen, von welchen sie durchkreuzt werden, und

endlich die Ordnung, in welcher die Farben auf einander folgen, näher betrachten.

Wenn man die einzelnen Ringe betrachtet, welche zunächst die beiden Axen umgeben, so scheinen diese nicht so gar sehr von der Kreisform abzuweichen, indeſs bemerkt man doch, daſs sie enger an einander in der Gegend liegen, die von der Mitte am entferntesten ist, und daſs sie gegen die Mitte sich breiter ausdehnen. Aber wenn man die Ringe, die weiter von den Axen, die man füglich die *Pole dieser Curven* nennen kann, entfernt liegen, wahrnehmen kann, so sieht man, daſs diese eine einzige, beide Pole umfassende, geschlossene Curve bilden. Diese Linien alle bilden deutlich ein System von Curven, die man unter dem Namen *Lemniscaten* zusammenfassen kann, wenn gleich ursprünglich nur die Linie so genannt worden ist, die von den zwei zusammengehörenden Ovalen zu einem beide Pole umfassenden Ovale den Uebergang macht. Es wird sogleich ein Grund erhellen, warum diese Lemniscaten hervorgehn. Um die Erfahrung, daſs die Farbenlinien wirklich mit diesen übereinstimmen, zu bestätigen, hat Herschel jenes Instrument angewandt, um das Bild auf einer Tafel, welche die Lemniscaten aufgezeichnet enthielt, darzustellen, und hat die Farbenlinie vollkommen an die gezeichneten Linien sich anschlieſsend gefunden, wenn nur für den Abstand der Pole die richtige Entfernung aufgetragen war.
Fig. Die Zeichnung der Figuren 100 bis 103 zeigen
100 bis diese Farbenringe für den Fall, wo man selbst die, beide Pole
103. mit einem einzigen Ovale umfassenden, Linien noch erkennen kann.

Diese Linien sind, wie leicht zu übersehn ist, so an die Richtung der optischen Axen gebunden, daſs die zwischen beiden Polen gezogene Linie sich mit fortbewegt, wenn man den Krystall in seiner Ebene dreht; denn immer erscheint einer der Pole in der Richtung, in welcher ein der Axe parallel durchgehender Strahl zum Auge gelangt. In dieser Hinsicht leidet also die Farben-Erscheinung durch die Drehung der Krystallplatte, bei gleich bleibender Stellung des Turmalin's, keine wesentliche Aenderung, die schwarzen Linien aber, die dann erscheinen, wenn der Turmalin das ursprünglich polarisirte Licht nicht durchlieſs, nehmen andere Gestalten an, die ich jetzt noch nicht betrachte.

Digitized by Google

Wenn man sich einer Krystallplatte bedient, wo die Axen einander nicht so nahe liegen, daſs man die von den Polen entferntern Curven im weiſsen Lichte gut wahrnehmen kann, so ist es vortheilhaft, eine mit der Axe parallel geschnittene Beryllplatte oder eine nicht zu dünne Platte blätterigen Gyps vor den Krystall zu halten. Da man mit Hülfe derselben, bei gehöriger Richtung der Axe dieses Krystalls, entferntere Farbenlinien wahrnimmt, so übersieht man dann die ganze Erscheinung vollständiger.

81. Damit ich den Grund erklären könne, warum diese *isochromatischen Linien* Lemniscaten sind, muſs ich über eine Haupt-Eigenschaft dieser Linien etwas vorausschicken. Nennt man den Abstand der beiden Pole der Lemniscaten $Pp = 2a$ Fig. und rechnet die Abscissen $= x$ von der Mitte dieses Abstandes 104. an, so wird die senkrechte Ordinate z durch folgende Gleichung

$$(z^2 + x^2 + a^2)^2 = a^2 (4x^2 + b^2)$$

bestimmt, und es ist hier b eine für jede einzelne Curve anders anzunehmende Linie. Sucht man nun für jeden Punct einer einzelnen dieser Curven die Abstände von beiden Polen, so findet man das Rechteck aus beiden Abständen unveränderlich für alle Puncte derselben Curve $= ab$, und dieses ist eben die vorhin erwähnte, hier für uns wichtige Eigenschaft. Es ist also das Rechteck aus $PA.pA$ gleich groſs für alle Puncte der beiden innern Ovale; ebenso $PB.pB$ unveränderlich für alle Puncte der Curve, worin B liegt; $PC.pC$ unveränderlich für alle Puncte der Curve, worin C liegt. Die Gestalt der Lemniscaten wird eine verschiedene, je nachdem $b = a$ oder $b > a$ oder $b < a$ ist. Für $b = a$ geht die krumme Linie durch den Mittelpunct E zwischen beiden Polen; für $b > a$ umschlieſst ein einziges Oval beide Pole, und dieses ist, wenn b nur wenig die Entfernung a übertrifft, um die Mitte merklich eingebogen; für $b < a$ sind zwei getrennte, zu einander gehörige, gegen die Mitte etwas mehr als nach auſsen ausgedehnte, Ovale da, wie die Zeichnung dieses alles deutlich angiebt[1].

82. Um jene merkwürdige Eigenschaft der Lemniscaten, daſs das Rechteck aus jeden zwei aus beiden Polen an einen und denselben Punct gezogenen Entfernungslinien u, u' dem

1 Brandes höhere Geometrie. I. Th. S. 170.

Digitized by Google

Rechteck ab gleich ist, an unsere optischen Betrachtungen zu knüpfen, fange ich mit der Bemerkung an, daſs dem die Farbenlinien betrachtenden Auge diese Entfernungslinien unter Sehewinkeln, die ϑ, ϑ' heiſsen mögen, erscheinen, und daſs daher sehr nahe u.u′ als dem Producte $\vartheta . \vartheta'$ bei sehr kleinen Bogen oder dem Producte Sin. ϑ. Sin. ϑ' proportional gesetzt werden kann. Erinnern wir uns also daran, daſs bei einaxigen Krystallen $\text{Sin.}^2 \vartheta = n h$ war, wenn wir nicht auf die ungleiche Dicke der Platte Rücksicht nahmen und die ungleiche Schiefe der durchgehenden Strahlen nicht berücksichtigten, oder allgemeiner $\text{Sin.}^2 \vartheta = \frac{n h}{r . \text{Sec. } \varrho}$ gesetzt werden konnte, und daſs dann einem bestimmten Werthe von ϑ eine bestimmte Farbe entsprach, so erhellet leicht, daſs ganz analog hier, wo r und ϱ für die Ausdehnung eines bestimmten Ringes nicht sehr verschieden ist, das Product Sin. ϑ. Sin. ϑ' constant bleiben muſs, damit nh als gleich, das ist, damit überall dieselbe Farbe hervorgehe. Die Gleichung $\text{Sin.} \vartheta . \text{Sin.} \vartheta' = \frac{n h}{r . \text{Sec.} \varrho}$ hat daher hier ganz dieselbe Bedeutung, wie die eben angeführte, den Kreisringen entsprechende Gleichung in nr. 74[1].

Es erhellt hieraus auch, daſs eine Platte senkrecht auf die Mittellinien beider optischen Axen geschnitten, nur dann Linien, welche mit den Lemniscaten übereinstimmen, geben kann, wenn die beiden Pole im Gesichtsfelde nicht sehr weit aus einander liegen, oder die Axen keine groſse Neigung gegen einander haben. Da wo diese Neigung sehr groſs wäre, würden die zu einerlei Farbenringe gehörigen Lichtstrahlen unter allzu verschiedenen Winkeln $= \varrho$ durch die Platte gehn, als daſs man Sec. ϱ. als beinahe für alle gleich ansehn dürfte, und die Curven würden auch wirklich dann merklich von der ihnen hier beigelegten Form abweichen. Daſs ϑ, ϑ' auch hier die Winkel sind, welche ein zum Auge gelangender Strahl mit beiden optischen Axen macht, brauche ich wohl kaum zu erinnern, da die vom Auge nach beiden Polen gezogenen Linien ja die Verlängerungen der optischen Axen sind, in welchen der Strahl, ohne seine Polarisation zu ändern, durchgeht.

---

1 Welche überaus verschiedene Werthe h bei den verschiedenen Körpern erhält, giebt Herschel an. Vom Lichte §. 1126.

83. Für jede einzelne Curve erhält b einen andern Werth, und wenn man bei homogenem, einfarbigem Lichte in den verschiedenen hellen Curven durch Abmessung der Abstände irgend eines Punctes von beiden Polen das Product dieser Abstände und folglich a b bestimmt, so erhält b für die auf einander folgenden Ringe Werthe, die in der Progression 1, 3, 5, 7 fortgehn, so daſs, da a immer gleich bleibt bei ein und derselben Krystallplatte und einerlei Farbenstrahle, das Product Sin. ϑ. Sin. ϑ' für den ersten, zweiten, dritten Ring u. s. w. nach eben der Zahlenreihe im ungewöhnlichen Bilde fortgeht. Die einaxigen Krystalle sind also als besonderer Fall in dem hier betrachteten enthalten, und sie verhalten sich so, als ob beide Axen in eine zusammenfielen.

Daſs die Lemniscaten nur so lange, als der Weg des Strahls in der Platte nicht viel verschieden an Länge ist, als genau anzusehn sind, habe ich schon erwähnt. Um die Rücksicht auf diese Ungleichheit zu vermeiden, führt Brewster die Untersuchung so, als ob aus jedem Krystalle eine Kugel geschnitten wäre, durch deren Mittelpunct der polarisirte Strahl ginge. Bei Krystallen mit *einer* Axe würde P p diese Axe vor- Fig.
stellen, und wenn in gleichen Entfernungen von P in E und F 105.
Strahlen senkrecht auffielen, so würden auf diese die polarisirenden Kräfte mit gleicher Gewalt wirken und daher in dem ganzen Kreise E F gleiche Farben hervorgehn; die Parallelkreise um die Pole P, p wären *isochromatische* oder *gleichfarbige Curven.* Die Einwirkung der doppelt brechenden oder der die Polarisirung bewirkenden Kräfte ist in C D am gröſsten, wo die senkrecht einfallenden Strahlen einen rechten Winkel mit der Axe machen, und sofern die Farbe von Sin.$^2\,\vartheta$ abhing, würde in CD das Maximum des Werthes entstehn, den wir oben für n h fanden und als die Farbe angebend betrachteten. Wäre ein zweiaxiger Krystall kugelförmig geschnitten, so würde es einen gröſsten Kreis O C o D geben, in wel- Fig.
chem beide Axen Pp, P′ p′ lägen, und hier würde man wieder 106.
nach den isochromatischen Curven fragen für Strahlen, die in allen Richtungen einfallend durch den Mittelpunct gingen. Diese gleichfarbigen Curven fangen bei P, P′ als Mittelpuncten an, und wenn man die Farben darnach, wie sie gröſseren Zahlen in der Newton'schen Tafel entsprechen, höhere Farben nennt, so gelangt man von P nach O, von P nach C, von P nach A oder B

gehend, zu Farben höherer Ordnung. Daſs in diesem Sinne die Farben in A und B (90° von allen vier Polen entfernt) ihr Maximum erreichen, ist offenbar; es wird also bei A und B schon Weiſs als Resultat der Mischung erscheinen können, wenn auch bei C und D noch ein Farbenring sichtbar bliebe. Geht man von O nach den Puncten A oder B (die in den beiden geometrischen Polen des durch die Axen gehenden gröſsten Kreises liegen) zu, so gelangt man zu immer höheren Farben-Ordnungen, weil die Strahlen, welche etwa in X auffallen, gröſsere Winkel mit beiden optischen Axen machen, als die zwischen O und X auffallenden. Dagegen sind die Farben von O gegen P niedrigerer Ordnung zugehörig. In der Erscheinung der Farbenringe würden P, P′ die beiden Pole, O die Mitte der Curven seyn.

Brewster hat diese Vorstellung bequem gefunden, weil Sec. ϱ dann nicht in den Ausdrücken vorkommt; ich muſs indeſs gestehn, daſs mir diese Vorstellung, wenn man auch das Auge in den Mittelpunkt der Kugel versetzt, doch nur dann bequem erscheinen würde, wenn ein Fall, wo die polarisirten Strahlen von allen Seiten auf die Kugel fielen, vorkäme.

84. Bei der bisherigen Betrachtung ist das schwarze Kreuz gar nicht erwähnt worden. Wenn der Turmalin unverändert seine Stellung so behält, daſs seine Axe in der Ebene der ursprünglichen Polarisation ist, so ergeben sich bei der Drehung der Krystallplatte folgende Erscheinungen. 1. Lag zuerst die durch beide Axen des Krystalls gelegte Ebene in der ursprünglichen Polarisations-Ebene, oder erschienen beide Pole der Lemniscaten in der Verticallinie, wenn der polarisirte Strahl von einem horizontalen Spiegel ausgeht, so zeigt sich auch hier ein
Fig. schwarzes Kreuz, dessen zwei Arme durch beide Pole gehn,
100. die beiden andern Arme durch die Mitte zwischen den Polen senkrecht gegen jene. 2. Dreht man den Krystall ein wenig,
Fig. so daſs die Linie durch die Pole etwas von der Verticallinie
101. abweicht, so trennt sich das Kreuz in der Mitte. 3. Ist die Drehung bis 22°,5 gekommen, so haben die schwarzen Linien,
Fig. die in der 102ten Figur gezeichnete Form, und eben diese
102. nehmen sie bei 67°,5 Drehung wieder an. 4. Bei 45° Dre-
Fig. hung erscheinen sie wie in der Figur 103, und gehn nun die
103. vorigen Formen wieder durch, so daſs 5. bei 90° Drehung das schwarze Kreuz sich wieder darstellt.

Digitized by Google

85. Warum diese schwarzen Linien erscheinen, läſst sich der Hauptbestimmung nach leicht zeigen. Wir wissen aus dem Vorigen, daſs sie da erscheinen, wo die aus dem Krystalle hervorgehenden Strahlen ihre ursprüngliche Polarisation behalten haben und daher vom Turmaline nicht durchgelassen werden. In dem Falle, den ich so eben unter 1. angeführt habe, ist dieses offenbar der Fall bei den Strahlen, die in der Vertical-Ebene liegen; denn jede Axe allein würde ohne Zweifel die Strahlen theils in einer durch die Axe gehenden Ebene, theils senkrecht gegen dieselbe polarisiren, kommen aber die Strahlen in einer Polarisation an, deren Polarisations-Ebene durch beide Axen geht, so ändert sich die Polarisation gewiſs nicht. Aber auch die Strahlen, die in einer durch die Mitte zwischen beiden Polen gehenden Horizontal-Ebene liegen, behalten ihre Polarisation, weil die Einwirkung beider Axen auf sie völlig symmetrisch und gegenseitig zerstörend ist. Der 5te Fall läſst sich fast genau ebenso erklären, nur mit dem Unterschiede, daſs hier in der horizontalen, durch beide Axen gehenden Ebene die Lichtstrahlen ihre Polarisation senkrecht auf diese Ebene behalten.

Im zweiten Falle, wo die Richtungslinie Pp, die Verbindungslinie zwischen beiden Polen, nur wenig von der Ebene Fig. 107. der ursprünglichen Polarisation abweicht, werden offenbar die um die Mitte M liegenden Strahlen in zwei nach Pp und senkrecht auf Pp polarisirte zerlegt und aus diesen gehn im Turmaline Strahlen hervor, die durchgelassen werden; die dunkeln Linien sind daher von M zurückgewichen. Bei beträchtlich weit nach B oder b liegenden Strahlen nähert sich die Einwirkung beider Axen noch der Gleichheit, und Bb wird eine Asymptote seyn, woran sich die Aeste der dunkeln Curve anschlieſsen. Daſs die Curve durch P und p geht, versteht sich von selbst, indem in diesen Polen die polarisirten Strahlen immer durchgehn, ohne ihre Polarisation zu ändern.

Ebenso lieſse sich eine oberflächliche Betrachtung für alle in den Figuren 101 bis 103 dargestellte Fälle durchführen, aber auch die allgemeinere Bestimmung der Gestalt der dunkeln Linien ist nicht sehr schwierig. Um sie zu entwickeln, muſs ich nur den Hauptsatz anführen, den Biot als geltend für die Polarisation der beiden in zweiaxigen Krystallen bei der doppelten Brechung entstandenen Strahlen angiebt und den auch

Digitized by Google

Fresnel's Theorie als richtig anerkennt. Er ist folgender. Wenn der doppelt brechende Krystall zwei Axen P und p hat, so lege man durch den im Krystalle fortgehenden Strahl und eine mit der Axe P parallel gezogne Linie eine Ebene, und lege ferner durch den Strahl und eine mit der Axe p parallel gezogne Linie eine zweite Ebene, endlich lege man durch den Strahl eine den Neigungswinkel jener beiden Ebenen halbirende Ebene, dann ist diese letztere Ebene die Polarisations-Ebene des einen Strahls und die auf sie senkrechte Ebene die Polarisations-Ebene des andern Strahls. Sind die Strahlen, was bei unserer jetzigen Betrachtung indeſs nicht vorkommt, merklich von einander getrennt, so würde man für den gewöhnlich gebrochenen Strahl (oder eigentlich für den Strahl, der von den Gesetzen der gewöhnlichen Brechung am wenigsten abweicht, bei dem die Geschwindigkeit der Fortpflanzung am wenigsten von der Verschiedenheit der Richtung abhängt), jene drei Ebenen legen müssen und in der Halbirungs-Ebene selbst die Polarisations-Ebene haben; für den ungewöhnlich gebrochenen Strahl würde man auf gleiche Weise die drei Ebenen bestimmen und die auf die letztere senkrechte, durch die Richtung des Strahls gehende, würde seine Polarisations-Ebene seyn[1].

In Beziehung auf die Betrachtung, die wir hier nur anzustellen brauchen, nämlich um die dunkeln Linien in den Ringsystemen zu finden, die von keinem sehr groſsen Umfange sind, wo ϑ, ϑ' nur eine geringe Gröſse erhalten, kann man ohne Bedenken annehmen, daſs für den, von irgend einem Puncte Q
Fig. 108. ausgehenden, Strahl die eben bezeichnete Halbirungs-Ebene durch die Linie QN dargestellt werde, welche den Winkel PQp halbirt. Es sey nämlich O die Mitte zwischen beiden Polen P, p der Lemniscaten, so daſs das Auge sich senkrecht über O befindet und die durch P, p gehenden optischen Axen gegen das Auge gerichtet sind; Q sey ein Punct in den Farbenringen, von welchem das Auge einen Strahl empfängt, dann

1 Nach Fresnel's Theorie ist es nicht die Richtung des Strahls, sondern die Normallinie der Lichtwelle, durch welche die beiden ersten Ebenen gelegt werden sollten; da der Unterschied aber unbedeutend ist und der Grund dafür nur in einer vollständigen Darlegung der *Undulationstheorie* erklärt werden kann, so bleibe ich bei jener Regel stehn. Vergl. Poggend. XXIII 542.

Digitized by Google

sind es eigentlich die durch PQ und das Auge, und die durch pQ und das Auge gelegten Ebenen, deren Neigungswinkel halbirt werden soll, die Durchschnittslinie dieser Halbirungs-Ebene mit der Ebene der Figur kann aber hier als mit der Halbirungslinie QN einerlei angesehn werden. Für jeden Punct Q ist also der eine Strahl in der Ebene QN, der andere senkrecht hierauf polarisirt, und wenn OR die Ebene der ursprünglichen Polarisation ist, so findet keine Spaltung des Strahls in zwei Strahlen statt, sobald diese Halbirungslinie QN parallel mit OR oder darauf senkrecht ist.

Betrachten wir also nur den Fall, wo die Axe des Turmalin's mit der Ebene OR der ursprünglichen Polarisation zusammenfällt, so zeigen sich dem Auge da dunkle Linien, wo der durch den Krystall gehende Strahl seine Polarisation behält, und die Bestimmung der dunkeln Linien ist eine rein geometrische, die sich so ausdrücken läſst: Es sind zwei feste Puncte P, p, und eine Linie OR gegeben, man sucht die Lage derjenigen Puncte Q, für welche die den Winkel pQP halbirende Linie mit OR parallel ist. Es sey $ROP = \alpha$, und Q durch Coordinaten $OS = x$, $SQ = y$ bestimmt, der gegebne Abstand $OP = Op$ sey $= a$. Dann sind der Puncte P und p Coordinaten $a.\,\mathrm{Cos.}\,\alpha$ und $-a.\,\mathrm{Cos.}\,\alpha$ mit x, ferner $a.\,\mathrm{Sin.}\,\alpha$ und $-a.\,\mathrm{Sin.}\,\alpha$ mit y parallel. In allen Fällen ist offenbar, wenn man QM mit RO parallel zieht,

$$\mathrm{Tang.}\,PQM = \frac{a.\,\mathrm{Sin.}\,\alpha. - y}{(x - a.\,\mathrm{Cos.}\,\alpha)}$$

$$\text{und Tang. } pQM = \frac{y + a.\,\mathrm{Sin.}\,\alpha}{x + a.\,\mathrm{Cos.}\,\alpha},$$

und Q ist der gesuchte Punct, wenn QM mit der halbirenden Linie QN zusammentrifft oder

$$\frac{y + a.\,\mathrm{Sin.}\,\alpha}{x + a.\,\mathrm{Cos.}\,\alpha} = \frac{a\,\mathrm{Sin.}\,\alpha - y}{x - a.\,\mathrm{Cos.}\,\alpha}$$

ist. Daraus folgt

$$xy = a.^2\,\mathrm{Sin.}\,\alpha.\ \mathrm{Cos.}\,\alpha = \tfrac{1}{2}\,a.^2\ \mathrm{Sin.}\,2\alpha.$$

Dieses ist die Gleichung für alle Puncte, in welchen das Licht seine ursprüngliche Polarisation behält und folglich bei der vorausgesetzten Lage des Turmalin's nicht durchgelassen wird, wo also sich dunkle, die Farbenlinien durchkreuzende, Linien zeigen.

Die Gleichung zeigt sogleich, daſs diese Linien Hyperbeln sind. Ist $\alpha = o$, so muſs entweder x oder $y = o$ seyn, oder nur Puncte, die in OR oder in der durch O auf OR senkrecht gezogenen Linie Tt liegen, erscheinen dunkel, die dunkeln Linien bilden ein schwarzes Kreuz, wie in Figur 100. Eben das findet bei $\alpha = 90^\circ$ statt, obgleich dann die beiden Pole in der Horizontallinie liegen würden. Für jeden andern Werth von α bleiben die Curven Hyperbeln, deren Asymptoten die Linien Rr, Tt sind. Jede dieser Hyperbeln geht durch die Pole, deren Lage sich mit dem Winkel α ändert; denn da die Coordinaten der Pole $=$ a. Cos. α und $=$ a. Sin. α. sind, so gehören sie selbst zu den Puncten, deren Coordinaten das verlangte Product geben.

86. Wenn man den Turmalin dreht, während der Krystall eine ungeänderte Lage behält, so gehn ähnliche Aenderungen hervor, wie bei einaxigen Krystallen. Es zeigen sich nämlich, sobald die Axe des Turmalin's anfängt, sich von der Ebene der ursprünglichen Polarisation zu entfernen, in den dunkeln Hyperbeln neue Farbenlinien, die mit ihren dunkeln Theilen auf die hellen der vorigen treffen und überhaupt das System complementairer Farben zu den vorigen darstellen. Sie sind begrenzt durch zwei hyperbolische Linien, und bei einer Drehung des Turmalin's um 90° gehn Farbenlinien der Ergänzungsfarben mit weiſsen Durchkreuzungshyperbeln statt der schwarzen hervor.

87. Die Folge der Farben in den einzelnen Ringen ist hier nicht so einfach, als man erwarten sollte, und dieses hängt nicht allein und nicht einmal vorzüglich davon ab, daſs, wie beim Apophyllit, die Perioden für die verschiedenen Farbenstrahlen den Längen der Undulationen nicht entsprechen, sondern die Pole der Lemniscaten stimmen in manchen Krystallen bei einer Farbe nicht mit denen für eine andere Farbe überein. Herschel hat sich hiervon durch directe Versuche überzeugt, indem er Krystalle des Rochellesalzes (weinsteinsaure Soda und Kali) den verschiedenen Strahlen des prismatischen Farbenspectrums aussetzte. Hier zeigten sich die einfarbigen Lemniscaten regelmäſsig und wurden kleiner für jeden andern stärker brechbaren Strahl; aber ihre Pole rückten deutlich fort, wenn man von einem Strahle zum andern überging, und wenn man nur zwei Farben zur Erleuchtung anwandte, so sah man beide Ringsysteme mit

Digitized by Google

ihren verschiedenen Mittelpuncten und ungleichem Halbmesser noch deutlich [1]. Hieraus entspringt bei dem gemischten weiſsen Lichte eine Unregelmäſsigkeit, die sich, wenn beide Pole in der Ebene der ursprünglichen Polarisation liegen, durch Färbung der zunächst an beiden Seiten der dunkeln Linie und an den Polen liegenden Kreise zeigt, indem diese an beiden Enden entgegengesetzte Farben darbieten und dieses auf umgekehrte Weise, je nachdem die Axe für rothe oder für violette Strahlen mehr von der Mitte entfernt liegt.

Alle diese Axen liegen indeſs in dem Hauptschnitte, der durch beide Pole geht [2], und daher ist, wenn dieser Hauptschnitt in der Ebene der ursprünglichen Polarisation liegt, und der Turmalin seine Axe mit dieser parallel hat, die durch beide Pole gehende Linie vollkommen dunkel.

Rudberg hat für den Arragonit den Winkel, welchen die beiden optischen Axen mit einander machen, aus seinen Bestimmungen der Brechung für jeden Farbenstrahl berechnet und ihn für violette Strahlen 20° . 25′. für rothe 19° 45′ gefunden [3]. Diese Berechnung gründet sich auf die Beobachtung des Brechungsverhältnisses für die Fälle, wo der eine Strahl eine constante Geschwindigkeit bei verschiedenen Neigungen behält. Sind nämlich ε' und ε'' die Winkel, welche der Strahl mit der einen und der andern optischen Axe macht, so erhält man die Geschwindigkeiten beider Strahlen v', v'' nach Fresnel's Theorie durch

$$\frac{1}{v'^2} = A + B.\ \mathrm{Sin.}^2\, \tfrac{1}{2}\,(\varepsilon' - \varepsilon''),$$

$$\frac{1}{v''^2} = A + B.\ \mathrm{Sin.}^2\, \tfrac{1}{2}\,(\varepsilon' + \varepsilon''),$$

ausgedrückt, wo A, B constante Gröſsen sind. Bedient man sich nun erstlich eines aus dem doppelt brechenden Körper geschnittenen Prisma's, dessen Axe mit der Linie parallel ist, die den spitzen Winkel zwischen beiden optischen Axen halbirt, so bleiben die im Prisma gebrochenen Strahlen in einer auf diese Axe senkrechten Ebene, und es ist daher, welche Neigung auch

1 Phil. Tr. 1820. 75.

2 Diese, wenigstens für die meisten Fälle geltende Regel hat aber dennoch auch Ausnahmen. Poggend. XXVI. 303.

3 Brewster hat den Winkel der Axen nur = 18° 18′ angegeben.

der einfallende Strahl habe, $\varepsilon' + \varepsilon'' = 180°$, also $\frac{1}{v''^2} = A + B$; bedient man sich zweitens eines Prisma's, dessen Kante parallel mit der Linie ist, die den stumpfen Winkel zwischen beiden optischen Axen halbirt, so ist $\varepsilon' = \varepsilon''$ und $\frac{1}{v'^2} = A$; bedient man sich drittens eines Prisma's, dessen Kante senkrecht gegen die durch beide optische Axen gelegte Ebene ist, so befindet sich der durch das Prisma gehende Strahl in der Ebene der optischen Axen und es ist $\varepsilon' - \varepsilon'' = \alpha =$ dem von den Axen eingeschlossenen Winkel; daher

$$\frac{1}{v'^2} = A + B.\ \text{Sin.}^2 \tfrac{1}{2} \alpha.$$

Diese drei Fälle geben daher jeder *einen* Strahl mit constanter Geschwindigkeit, bei welchem also für die verschiedenen Einfallswinkel ein constantes Brechungsverhältniſs statt findet. Rudberg's Versuche bestimmten für jeden einzelnen Farbenstrahl (indem die Fraunhofer'schen dunkeln Linien im Farbenspectrum als ganz bestimmte Puncte desselben angebend benutzt wurden) diesen Werth von $\frac{1}{v^2}$ oder den Exponenten der Brechung in den eben angegebenen drei Fällen, und so führten sie sowohl zur Bestimmung der Gröſse A und B, als auch zur Bestimmung des Winkels α für jeden einzelnen Farbenstrahl. Es erhellet hieraus, wie wichtig diese Versuche für die hier betrachteten Bestimmungen sind [1].

88. Aus diesem Nichtzusammenfallen der Pole erklärt sich auch eine sehr allgemeine Beobachtung, die man am besten machen kann, wenn der Hauptschnitt der Krystallplatte 45° von der Ebene der ursprünglichen Polarisation abweicht. Geht man dann die Farben der Ringe durch, so findet man im weiſsen Lichte eine der Anordnung der Newton'schen Farbenringe mehr entsprechende Farbenfolge, wenn man von zwei andern Puncten des Hauptschnittes, die man *virtuelle Pole* genannt hat, ausgeht, als wenn man von den scheinbaren Polen die in der Mitte der zwei Ringsysteme liegen, ausgeht. Diese virtuellen Pole behalten für einerlei Art von Krystall einen gleichen Winkel-Abstand von den scheinbaren Polen, wenn

1 Poggend. XVII. 5.

auch die Dicke der Platte ungleich iſt. Die ſcheinbaren Pole erſcheinen daher nicht ganz ſchwarz, und ihre Färbung gehört einem Ringe anderer Ordnung an, wenn die Platte dicker iſt. Dieſe Puncte liegen zwiſchen den Polen, wenn die blaue Axe der Mitte näher als die rothe liegt, z. B. bei Rochelleſalz, Borax, Mica, und auſserhalb, wenn die Axe der blauen Strahlen mehr als die der rothen von der Mitte ab liegt, z. B. im Salpeter, Arragonit, Strontian. Der Grund hiervon erhellet leicht; denn da die violetten Ringe kleiner ſind, ſo trifft der violette auf denjenigen rothen Ring, der an der Seite liegt, wohin das Centrum des violetten vorgerückt iſt; ungefähr fallen dann auch die zwiſchenliegenden Farben zuſammen, und bilden Weiſs, wenn die Farben oder die hellen Ringe zuſammenfallen, oder bilden Schwarz, wenn die dunkeln Zwiſchenräume zuſammenfallen. Von dieſen Coincidenzpuncten gehn dann die Farben ziemlich den Newton'ſchen Ringen gemäſs, wenn die Farbenfolge nicht zugleich ſolchen Abweichungen unterworfen iſt, wie wir oben beim Apophyllit ſahn. Für einen ſchwefelſauern Baryt fand Herschel in dem virtuellen Pole des ungewöhnlichen Bildes Schwarz oder vielmehr ein dem Schwarz nahe kommendes Purpur. Ging man nun von dieſem virtuellen Pole, der weiter als der ſcheinbare Pol von der Mitte ab lag, weiter hinauswärts, ſo folgte ein grünliches und dann ein reines Weiſs, dieſes ging in Orange über, woran ſich die Farbenreihe Roth, Blau, Hellblau, grünliches Weiſs und dann Orange, Roth, Purpur, Blau, Grün, Gelb, Roth, unreines Purpur, ſchönes Grün, Roth, Grün, anſchloſs. Im virtuellen Pole trafen die dunkeln Zwiſchenräume faſt aller Ringe, deren Mittelpuncte die verſchiedenen wahren Pole waren, zuſammen; aber da die blauen und grünen hellen Ringe in einem kleinern Zwiſchenraume von ihrem zugehörigen dunkeln Ringe liegen, ſo treten dieſe Farben, noch ungemiſcht mit Roth, als grünliches Weiſs, hervor und daran erſt grenzt das volle Weiſs, wo die nächſten hellen Ringe aller Farben ſich decken. Daſs dieſes Weiſs einen äuſseren Orangerand haben und in Roth übergehn muſs, iſt offenbar; aber dann kommen, weil dem hellen rothen Ringe der dunkle Zwiſchenraum des nächſten violetten und blauen Ringes entſprach, die hellen blauen Ringe gleich nach dem Roth, da hingegen, wo nun der nächſte orange und rothe Ring liegen ſollte, trifft zugleich ſchon der folgende helle violette

Digitized by Google

Ring, daher grünliches Weiſs sich hier anreihet u. s. w. Gegen die Mitte zu ist die Farbenfolge nicht so regelmäſsig, weil man von hier gegen die verschiedenen Mittelpuncte zu geht. Das dunkle Purpur des virtuellen Poles ging in violettes Weiſs und reines Weiſs über, ein gelblich weiſser Rand trennte dieses vom röthlichen Violett, und hieran schloſs sich dunkles Purpur, dunkles Blau, ein Uebergang durch Grünlich in Gelb, Hellroth, Purpur, grünlich Blau an, und dieses lag im scheinbaren Pole, dann folgte grünlich Blau, grünlich Weiſs, Roth u. s. w. Da man hier die Axe der blauen Strahlen eher erreicht, als die der rothen, so ist hier die Farbenreihe anders, als wenn man nach der andern Seite fortgeht, und nur nach der Seite, die von den Polen abwärts liegt, kann die Ordnung der Farben ziemlich nahe der Newton'schen Reihe entsprechen.

Herschel[1] giebt noch mehrere Unregelmäſsigkeiten an, die sich hieraus erklären lassen, und zeigt dann auch, wie die beim Apophyllit erwähnte ungleiche Einwirkung auf die verschiedenen Farben, wodurch die Perioden von den Verhältnissen der Undulationslängen abweichen, die Erscheinungen noch verwickelter macht.

In Beziehung auf diese optischen Axen verdienen auch noch folgende Bemerkungen hier einen Platz. Vom Glauberit hatte Brewster schon früher[2] bekannt gemacht, daſs er im weiſsen Lichte gar keine kenntliche Pole der Farbenringe zeige, und dieses deswegen, weil zwar im rothen Lichte die optischen Axen 5° gegen einander geneigt erscheinen, und kenntliche Pole darstellen, in den stärker brechbaren Strahlen aber die Pole näher zusammenrücken und für die violetten Strahlen ganz zusammenfallen. Eine frühere Beobachtung Mitscherlich's scheint nachher Brewster veranlaſst zu haben, den Glauberit genauer und zwar in verschiedenen Temperaturen zu untersuchen, und diese Untersuchung zeigte, daſs die Lage der Axen mit der Temperatur sich ganz auffallend ändert. Bei der Gefrierkälte hat der Glauberit zwei Axen doppelter Brechung für alle Farbenstrahlen, die für die violetten Strahlen am wenigsten gegen einander geneigt sind. Bei zunehmender Temperatur nimmt für alle Farben die Neigung der beiden

1 Ph. Tr. 1820. 74.

2 Schweigg. Jahrb. XXVI. 318. Edinb. Ph. Tr. XI. 223.

Digitized by Google

Axen ab, und im violetten Strahle zeigt sich zuerst der Glauberit einaxig; aber für noch mehr steigende Temperaturen tritt dieses bei den folgenden Farbenstrahlen nach und nach ein und im violetten Strahle treten aufs neue zwei Axen hervor, die in einer gegen die vorige Ebene der Axen senkrechten Ebene liegen. Schon bei einer Temperatur, die noch unter dem Kochpuncte ist, erscheinen die zwei Axen für alle Farben in dieser neuen Ebene [1].

Mitscherlich's frühere Untersuchung betraf den Gyps [2]. Dieser ist in niedrigen Temperaturen zweiaxig, der Winkel zwischen den Axen wird aber bei steigender Wärme kleiner und bei 73°,5 R fallen die Axen zusammen; wird die Wärme noch gröſser, so gehn die Axen auf's neue auseinander, aber in einer Ebene, die senkrecht gegen diejenige Ebene ist, in welcher sie bei niedriger Temperatur lagen. Es ist offenbar, daſs dieses mit einer Aenderung der Gestalt der Krystalle zusammenhängen muſs [3]. Brewster hat diese starke Aenderung der Lage der Axen bestätigt gefunden, und Rudberg hat noch bei mehrern Krystallen die mit der Aenderung der Temperatur eintretende Aenderung der doppelten Brechung untersucht [4].

89. Es ist nun noch übrig zu zeigen, in welchem Zusammenhange die Farben der dünnen Gypsblättchen und anderer Platten, die nicht senkrecht gegen die Axe geschnitten sind, mit diesen Farbenringen stehen. Diese Verbindung zeigt sich schon, wenn man so dünne, ungefähr senkrecht auf die Axe geschnittene Platten nimmt, daſs die Ringe sehr groſs werden müſsten, indem man da nicht mehr deutlich begrenzte Ringe, sondern breit ausgedehnte Farbenstreifen bemerkt, und diese bleiben auch dann sichtbar, wenn die Axe weit von der senkrechten Richtung abweicht, und einen schiefen Winkel mit der Platte macht, ja endlich in der Ebene der Platte liegt, wie es bei dem blätterigen Gyps der Fall ist.

Um aber nun doch auch die wichtigsten Erscheinungen anzuführen, wie sie sich bei verschiedener Neigung solcher

1 Brewster Phil. Magaz. 1832. Dec. 419.
2 Poggend. VIII. 520.
3 Vgl. Art. *Brechung* S. 1192.
4 Poggend. XXVI. 291.

Digitized by Google

dünner Platten, deren Axe geneigt gegen die Ebene der Platte ist, ergeben, will ich die Farben-Erscheinungen, wie Glimmerplatten (*Mica*) sie zeigen, nach HERSCHEL's Darstellung beschreiben. Dieser aus dünnen durchsichtigen Tafeln bestehende Körper hat zwei optische Axen, die beide gleich gegen die Platten geneigt sind. Läſst man Strahlen unter 54° 57′ gegen die Ebene der Platte geneigt (oder unter dem Einfallswinkel = 35° 3′) auffallen, und dreht dann die Platte in ihrer Ebene, so findet man eine Stellung, bei welcher ein polarisirt auffallender Strahl durch die Platte geht, ohne irgend seine Polarisation zu ändern, und wenn man die Stellung, wo dieses statt findet, bemerkt, und die Platte um 180° dreht, so findet eben dieses abermals statt. Die senkrechte Ebene also, welche durch die so bezeichnete Linie geht, enthält zwei optische Axen, die in ihr so liegen, daſs die Strahlen, welche ihrer Richtung folgend durch die Platte gegangen sind, unter den angegebenen Winkeln geneigt hervorgehn; und wenn man berechnet, in welcher Richtung diese Strahlen im Innern fortgehn muſsten, so giebt der Einfallswinkel = 35° 3′, bei dem Brechungsverhältnisse, welches sehr nahe $\frac{2}{3}$ ist, fast genau 22° 30′ für den Brechungswinkel, und beide Axen sind also 45° gegen einander und 67°,5 gegen die Ebene der Oberfläche der Glimmerplatte geneigt. Jene Linie, welche die senkrechte Ebene bezeichnet, in der die zwei Axen liegen, wird hier offenbar der *Hauptschnitt* heiſsen müssen.

Setzt man die Glimmerplatte so dem polarisirten Strahle aus, daſs er nach der Richtung einer der optischen Axen durchgeht, und bringt man hierauf das Auge mit einer vor demselben gehaltenen Turmalinplatte, deren Axe der ursprünglichen Polarisations-Ebene parallel ist, nahe an die Glimmerplatte, so zeigen sich um den schwarzen Fleck, welcher der Richtung der Axe entspricht, die Farbenringe, die wir umständlich betrachtet haben. Sie sind deutlich als oval geformt, als etwas ausgebreiteter gegen die andere Axe zu, kenntlich, wenn die Platte nicht zu dünn ist; dagegen wenn dieses der Fall ist, erscheinen sie sehr ausgebreitet. Doch bei diesen will ich nun nicht länger verweilen, da sie mit den bisher betrachteten Ringen übereinstimmen.

90. Diese Platte, die nicht viel über $\frac{1}{3}$ Linien dick seyn muſs, läſst sich nun aber gebrauchen, um die sehr verwickelt

scheinenden Phänomene zu übersehn, die sich bei ungleicher Neigung gegen den Lichtstrahl darbieten. Daſs man sich eines horizontalen Glases, um durch Spiegelung einen in der Vertical-Ebene polarisirten Strahl hervorzubringen, und eines mit der Axe vertical gestellten Turmalin's vor dem Auge bedient, um die Erscheinungen zu beobachten, versteht sich von selbst.

Um zuerst jenen Hauptschnitt der Glimmerplatte zu finden, läſst man den Strahl senkrecht auf die Platte fallen, und dreht sie in ihrer Ebene, bis man die bei andern Stellungen erscheinenden Farben verschwinden sieht. Die Linie in der Platte, die sich dann in der ursprünglichen Polarisations-Ebene befindet, bezeichnet entweder den Hauptschnitt selbst, oder ist auf ihn senkrecht; denn man findet zwei auf einander senkrechte Linien, die jede in die Polarisations-Ebene gestellt werden können, um die Farben verschwinden zu machen und die Erscheinung auf eben das, was ohne Glimmerplatte statt fand, zurückzuführen. Stellt man die noch immer gegen den Strahl senkrechte Platte in eine Mittelstellung, so daſs jene zwei Linien 45° gegen die Polarisations-Ebene geneigt sind, so ist die Farben-Erscheinung, die bei der Drehung in der Ebene ihre Farbe nicht ändert, am glänzendsten.

Um nun zu entscheiden, welche jener zwei auf der Glimmerplatte bezeichneten Linien der Hauptschnitt ist, muſs man die Erscheinungen beobachten, während man die Neigung gehörig ändert. Man stellt nämlich zuerst die senkrecht gegen den Strahl gehaltene Platte so, daſs jene beiden Linien 45° mit der Polarisations-Ebene machen; man läſst dann die eine jener bezeichneten Linien als Drehungs-Axe der Platte in ihrer Stellung bleiben, während man die Platte um sie dreht, und sieht nun zwei wesentlich verschiedene Reihenfolgen veränderter Farben, jenachdem die ruhende Linie der Hauptschnitt ist oder nicht. Ist die festgehaltene Linie die dem Hauptschnitte selbst entsprechende, so sieht man, je mehr die Platte von der senkrechten Stellung abweicht, desto mehr die Farben hervortreten, die in den Newton'schen Farbenringen den entferntern Ringen entsprechen, oder die Farben steigen in der Newton'schen Skale und gelangen endlich zum Weiſs. Hätte die Platte schon bei der senkrechten Stellung sich farbenlos

(weiſs) gezeigt, so wären bei *dieser* Aenderung der Neigung gar keine Farben zum Vorschein gekommen, und dieses ist bei zu dicken Platten der Fall. Ist dagegen die Linie, um welche man die Drehung ausführt, nicht die den Hauptschnitt bezeichnende, so bemerkt man bei allmäliger Drehung von der senkrechten Lage an, daſs zuerst die Farben der dem Mittelpuncte näheren Newton'schen Farbenringe hervortreten oder daſs die Farben in der Skale absteigend hervorgehn, und wenn der Strahl 35° 3′ gegen das Einfallsloth geneigt ist, die Dunkelheit sich ebenso zeigt, als ob die Platte nicht da wäre, oder das Schwarz im Centrum der Newton'schen Ringe sich darstellt. Dieses verräth uns, daſs wir nun den nach der Richtung der Axe durchgehenden Strahl empfangen, und es erhellet leicht, daſs bei gröſserer Neigung die Farben in der zu entferntern Ringen fortgehenden Ordnung wieder hervortreten müssen.

Diese ganze Erscheinung ist jetzt leicht verständlich. Indem wir von der Stellung, da der Strahl durch die Axe geht, abweichen und gegen die mehr senkrechte Richtung des Strahls zu gehn, durchlaufen wir die bei einem zweiaxigen Krystalle um die Axe entstehenden Ringe nach der Mitte zu, und würden, wenn wir bis über die senkrechte Richtung des Strahls hinausgehn, in die der andern Axe gehörigen Ringe hinein und endlich bis zu dieser selbst gelangen; gehn wir dagegen abermals von eben der Stellung aus und zu Neigungen über, die weiter von der senkrechten Richtung des Strahls abweichen, so durchlaufen wir die Ringe, die vom Mittelpuncte ab liegen, wo wir dann endlich zum Weiſs gelangen. Es läſst sich nun wohl voraussehn, wie verwickelt die Erscheinungen dem vorkommen müssen, der ohne Kenntniſs jener Axen die Platte in allerlei Stellungen gegen den einfallenden Strahl bringt; aber es erhellt auch, daſs man bei einer jeden Stellung der Platte die nothwendig hervorgehende Farbe berechnen kann, wenn man nicht bloſs den Winkel kennt, den der Strahl mit der einen Axe macht, sondern auch die Richtung weiſs, in welcher man die Farbenringe durchschneidet, oder wenn man die Winkel ϑ und ϑ' kennt, die der Strahl mit beiden Axen macht.

Hieraus wird dann auch vollkommen klar, wie man aus Beobachtung der Stellung der Platte, bei welcher im homogenen Lichte die Farbe des ersten hellen Ringes, die Farbe des

zweiten hellen Ringes, die Dunkelheit zwischen diesen oder den folgenden Ringen u. s. w. erscheint, die Formeln prüfen kann, die wir früher für das Product Sin. ϑ. Sin. ϑ' angaben. Diese Winkel nämlich lassen sich aus der bekannten Stellung der Platte berechnen, und die Werthe von n müssen dann für homogene Strahlen in der oben angegebnen Ordnung hervorgehn, und für gemischte, aus dem Weiſs hervorgehende, Strahlen muſs sich dann ergeben, ob n sich von Farbe zu Farbe so ändert, wie wir es nach der Newton'schen Tafel erwarten. Hieraus werden Herschel's Versuche über die Abweichung von der Newton'schen Skale, die oben angeführt, aber auf diese Weise bei verschiedenen Neigungen angestellt sind, vollkommen verständlich [1].

VII. Ueber die Bestimmung derjenigen Axen in den Krystallen, von denen ursprünglich die Einwirkung auf Polarisation und doppelte Brechung abhängt.

91. Wenn die optischen Axen der Krystalle in allen Fäl-

1 Da es unmöglich ist, hier alle nur auf einzelne Gegenstände gehende Untersuchungen umständlich anzuführen, so will ich doch wenigstens folgende Abhandlungen ihrem Titel nach erwähnen. — Marx über optische Erscheinungen in unterschwefelsauren Salzen. Schw. Jahrb. XVII. 236. Marx über die optische Structur des Amethyst. Schw. Jahrb. XXXI. 1. Marx über Arragonite und Glimmer. Poggd. VIII. 243. v. Kobell über die Eigenschaft des Glimmers und Gypses, das Licht zu polarisiren. Poggd. XX. 342. 412. Brewster über die eigenthümliche Art der Polarisation bei Perlmutter, die nicht mit der bei krystallisirten Körpern übereinstimmt, aber sich auch von der Polarisation bei andern unkrystallisirten Körpern unterscheidet. Phil. Tr. 1814. 416. Herschel's neue das Perlmutter betreffende Untersuchungen in dem Edinb. Phil. Journ. III. 114. Marx über die Krystallisation des Wassers, Schw. Jahrb. XXIV. 426., wo gezeigt wird, daſs die Krystallform desselben rhomboedrisch ist. Brewster über die optischen Eigenschaften des kohlensauren Baryt's u. s. w. in den Edinb. Phil. Transact. VII. 285. Brewster über die doppelte Strahlenbrechung des Analcim. Edinb. philos. Journ. Nr. XX. p. 255. und Baumgärtners Zeitschrift. II. Brewster über die optische Structur der Lithion-Mica in d. Edinb. Journ. of Science II. 205. Erman über die epoptischen Figuren des Arragonits ohne vorläufige Polarisation. Poggend. XXVI. 302.

Digitized by Google

len entweder in Beziehung auf die Gestalt des Krystalls selbst oder in Beziehung auf die Theilchen, aus denen wir ihn als zusammengesetzt anzusehn Grund haben, so bestimmt an die Hauptlinie des Krystalls geknüpft wären, wie es bei dem Doppelspathe der Fall ist, so würden wir wohl kein Bedenken tragen, die Axe, welche wir als Axe des Krystalls und als optische Axe zugleich anerkennen, auch als diejenige anzusehn, in welcher wir den Grund aller dieser Erscheinungen der doppelten Brechung und Polarisation zu suchen haben. Aber diese Uebereinstimmung zwischen den Linien, die im Krystalle als die merkwürdigsten hervortreten, und den optischen Axen ist keineswegs allgemein, und da in zweiaxigen Krystallen sogar die optischen Axen für jeden Farbenstrahl eine andere Lage haben, so bietet sich der Gedanke sehr natürlich dar, daſs diese optischen Axen, um mit Brewster zu reden, nur *resultirende Axen* sind, in welchen die, eigentlich von andern Axen ausgehende, Einwirkung auf ähnliche Art vereinigt gedacht werden kann, wie die Richtung mehrerer Kräfte in der Richtung der äquivalenten Mittelkraft.

Diese Ansicht findet in Fresnel's Undulationstheorie eine sehr wichtige Bestätigung, da nach dieser die doppelte Brechung davon abhängt, daſs die Elasticität des Aethers in den Körpern nicht nach allen Richtungen gleich ist. Da ich aber diese theoretischen Untersuchungen, die sich an das ganze System der Undulationstheorie anknüpfen, besser einem andern Artikel[1] vorbehalte, so begnüge ich mich hier, von Brewster's über diese eigentlich wirksamen Axen aufgestellte Theorie einen Begriff zu geben.

Brewster glaubt, diese ruhe auf rein mechanischen Gründen[2]. Ob man ihm dieses zugestehn darf, mögte ich bezweifeln, und das Hypothetische in der Theorie ist ihm auch nicht bloſs von Biot vorgeworfen[3], sondern auch Herschel scheint es dadurch, daſs er die Grundlagen dieser Theorie als *Postulate* aufführt, andeuten zu wollen[4]. Die eine Grund-

1 S. Art. *Undulationstheorie.*

2 Phil. Tr. 1818. 240. Vgl. die Darstellung dieser Theorie von Marx. Schw. Journ. XXVII. 129. XXVIII. 145.

3 Mém. de l'acad. royale. 1818. Tome. III. p. 194. 216. 224. 226.

4 Vom Lichte §. 1021 bis 1025.

lage dieser Theorie kann allerdings wohl als empirisch gelten, nämlich daſs die Wirkung einer solchen Axe, von welcher anziehende oder abstoſsende Kräfte ausgehn, als $\text{Sin.}^2\,\vartheta$ proportional kann angesehen werden, wenn ϑ der Winkel ist, den der Strahl mit der Axe macht; aber das zweite als Grundlage dienende Theorem kann nur dadurch das Urtheil für sich gewinnen, wenn es in seinen fernern Resultaten mit der Erfahrung übereinstimmt; an sich selbst ist es wohl nicht so einfach, daſs es als Grundsatz gelten könnte, wenn es gleich im Ausdrucke einem bekannten statischen Lehrsatze ähnlich ist. Dieser zweite Satz heiſst: die Wirkung zweier Axen auf einen Strahl wird gefunden, wenn man die Wirkung jeder Axe einzeln und den Winkel berechnet, den die durch den Strahl und jede Axe gelegten Ebenen mit einander machen, und wenn man dann die Diagonale eines Parallelogrammes berechnet, in welchem jene Kräfte die Seiten sind und der eingeschlossene Winkel doppelt so groſs als der eben genannte Winkel. Diese Diagonale stellt die vereinte Wirkung beider Axen dar.

92. An diese Voraussetzung schlieſsen sich leicht folgende Sätze an. Es sey ABC ein auf der Kugel gezeichnetes Fig.
aus drei Quadranten gebildetes Dreieck. Im Mittelpuncte der 109.
Kugel treffen der Strahl und die einwirkenden Axen zusammen; dann läſst sich, wenn G der Endpunct der resultirenden Axe ist, das Verhältniſs der Kräfte bestimmen, die von zwei gegebenen Axen ausgehn müssen, damit in G ein Gleichgewicht der Kräfte sey. Es sey zuerst die Axe A sowohl als auch C eine zurückstoſsende, und die Kraft jener $= p$, dieser $= p'$, so ist für einen von G nach dem Mittelpuncte gehenden Strahl die von A wirkende Kraft $= p$, weil $AG = 90^\circ$, die von C wirkende Kraft $= p'.\,\text{Sin.}^2\,GC$, und die Ebenen AG, CG machen einen rechten Winkel mit einander. Nach jenem Gesetze des Parallelogrammes also, das hier einen Winkel von 180° erhält, findet das Gleichgewicht statt, wen $p' = \frac{p}{\text{Sin.}^2\,GC}$ ist. Sind A und B positive Axen, anziehend wirkende, so muſs die Kraft der Axe B, $p'' = \frac{p}{\text{Cos.}^2\,GC}$ seyn; sind B, C die zwei wirkenden Axen, und ist die eine positiv, die andre negativ, so muſs $p'.\text{Sin.}^2\,GC = p''\,\text{Cos.}^2\,GC$ seyn. Hier ist ganz klar, daſs die Einwirkung beider Axen in G in allen drei Fällen

Digitized by Google

gleich ist, aber dieses würde nur Gleichheit des Werthes von nh (in nr. 74.) oder Gleichheit der Farbe ergeben, wenn wir es auf jene Bedeutung beziehen, und die Behauptung, daſs eben darum auch die Farbe $= o$ oder $nh = o$ hervorgehe, und hier eine optische Axe sey, scheint mir nicht deutlich.

Nimmt man aber jene Grundsätze an, so erhellet allerdings, daſs man die in irgend einem Puncte E statt findende resultirende Kraft finden kann, wenn B und C Axen von gegebener Intensität sind. Denn es läſst sich dann die von beiden Puncten B, C her wirkende Kraft $= p''. \text{Sin.}^2\, BE$ und $= p'. \text{Sin.}^2\, CE = p''. \text{Cotang.}^2\, GC. \text{Sin.}^2\, CE$, finden, und auch der Winkel BEC, womit alle Stücke des Parallelogrammes der Kräfte gegeben sind. Die Zahl, die sich, bei gehöriger Bestimmung der Diagonale, dann ergäbe, würde den Werth von nh für den Punct E und folglich, in Beziehung auf unsere frühern Betrachtungen, die in E sich zeigende Farbe bestimmen.

93. Hieran knüpft Brewster die wichtigen Folgerungen über die Substitution zweier Axen statt einer, oder einer statt zweier. Sind nämlich A, B, C drei auf einander senkrechte Axen, so beweiset er nach den eben erklärten Gründen, daſs zwei positiv oder anziehend wirkende Axen B und C, wenn ihre Wirkungen $= p$ sind, auf jeden Punct eben die Wirkung hervorbringen, welche die *eine* gegen beide senkrechte Axen hervorbringen würde, wenn ihre Kraft negativ, und ebenfalls $= p$ ist. Die Zahl nämlich, die nach jenem Rechnungsprincip hervorgeht, ist in beiden Fällen gleich. Diese Substitution zweier Axen statt einer, welche uns in den Erscheinungen als resultirende Axe, als optische Axe, angedeutet wird, führt nun allerdings zu der Ansicht, daſs wir nicht gerade genöthigt sind, die auf die Polarisirung des Strahls wirkende Axe da zu suchen, wo die mit den Hauptlinien des Krystalls nicht zusammen treffenden optischen Axen sie uns anzugeben scheinen. Ja es kann sich, wie Brewster bemerkt, wohl ereignen, daſs da, wo drei auf einander senkrechte Axen sind, diese ihre Wirkung völlig zerstören, welches nämlich dann statt finden müsse, wenn alle drei Axen mit gleicher Kraft und alle entweder positiv oder negativ wirken; denn da zwei gleiche positive, auf einander senkrechte Axen einer eben so starken auf beide senkrechten negativen Axen gleich wirkend sind, so wird durch sie

die Kraft dieser dritten Axe, wenn sie an sich positiv und ebenso groſs ist, zerstört. Darauf scheine es zu beruhn, daſs die Krystalle, deren primitive Form der Cubus oder das reguläre Octaeder, oder das Rhombendodecaeder ist, gar keine doppelte Brechung zeigen, und daſs eine schwache polarisirende Wirkung zuweilen übrig bleibe, wenn jenes Gleichgewicht nicht vollkommen statt findet. Und hierbei ist es allerdings merkwürdig, daſs nur die eben angeführten Krystallformen drei ganz bestimmte, auf einander senkrechte, Axen haben, die im Würfel die Mittelpuncte der gegenüberstehenden Seiten, im Octaeder die einander gegenüberstehenden körperlichen Ecken, und im Rhombendodecaeder die sechs körperlichen Ecken verbinden, die von vier spitzen Winkeln eingeschlossen sind.

In den einaxigen Krystallen fällt, wie Brewster bemerkt, die optische Axe immer mit einer durch die Krystallform deutlich bezeichneten Linie zusammen; bei den zweiaxigen dagegen ist diese Uebereinstimmung nicht deutlich. Als ein Beispiel aber, daſs man auch bei *einer* anscheinend nur vorhandenen optischen Axe veranlaſst werde, an mehrere Axen zu denken, führt Brewster den Apophyllit an, dem man drei auf einander senkrechte Axen, jede mit einer andern Zerstreuungskraft, zuschreiben müsse. Ebenso müsse man im Glauberit annehmen, daſs bei bestimmter Wärme nur *eine* Axe auf die Strahlen einer Art, zwei Axen auf die übrigen Strahlen wirken[1].

94. Diesen hypothetischen Ansichten von der Substitution zweier Axen statt einer u. s. w. hat Biot eine, wie es scheint, wichtige Bemerkung beigefügt. Er sagt, die von Brewster aufgestellte Behauptung, daſs seine Ansicht sich als so sehr gut den einzelnen Erscheinungen entsprechend bewähre, habe ihn bewogen, dem Zusammenhange zwischen diesen verwickelt dargestellten empirischen Gesetzen der Brewster'schen Theorie und einfachern Gesetzen nachzuforschen, und so habe er gefunden, daſs das Gesetz, daſs $\text{Sin.}\,\vartheta.\ \text{Sin.}\,\vartheta'$ in unsern obigen Ausdrücken die Farbe bestimmen, als der einfache Grund jener verwickelten Darstellung hervorgehe, und es zeige sich

1 Schweigg. Jahrb. XXVI. 320., wo auf Ediub. Transact. IX 317. verwiesen wird.

dann noch mehr im Einzelnen, welche Lage man den Brewsters'chen Axen beilegen dürfe, und welche nicht [1].

95. Biot selbst hat seinen theoretischen Untersuchungen eine andre Richtung gegeben. Er geht von der Betrachtung aus, daſs für einaxige Krystalle der Unterschied der Quadrate der Geschwindigkeiten beider Strahlen durch $k . \mathrm{Sin.}^2 \vartheta$ dargestellt werde, und daſs man also für zweiaxige Krystalle, wenn ϑ, ϑ' die Winkel des Strahls mit beiden Axen sind, jenen Unterschied wohl auch als eine zum zweiten Grade gehörige Function von $\mathrm{Sin.} \vartheta$. und $\mathrm{Sin.} \vartheta'$ anzusehen veranlaſst sey. Wollte man aber dieser Function ihre allgemeinste Form $l. \mathrm{Sin.}^2 \vartheta + m \, \mathrm{Sin.} \vartheta . \mathrm{Sin.} \vartheta' + n . \mathrm{Sin.}^2 \vartheta'$ geben, so würde in der einen optischen Axe, wo zwar $\vartheta = o$, aber nicht ϑ' auch $= o$ ist, ein Unterschied der Geschwindigkeiten statt finden, welches gegen die Erfahrung ist; und da ebenso in der andern Axe die Geschwindigkeiten gleich sind und keine Spaltung des Strahls statt findet, so kann nur das einzige Glied der zweiten Ordnung $m . \mathrm{Sin.} \vartheta . \mathrm{Sin.} \vartheta'$ vorkommen. Um nun die Richtung des gebrochenen Strahls zu bestimmen, nimmt er, ebenso wie es Laplace für Krystalle mit *einer* Axe that, das Princip der kleinsten Wirkung zu Hülfe, und findet so eine Formel, welche die Richtung des ungewöhnlich gebrochenen Strahls vermittelst der bekannten Lage der Axen und des einfallenden Strahls ausdrückt. Diese Formeln müssen nun auch umgekehrt die Lage der optischen Axen angeben können, wenn man aus Beobachtungen die Richtung der beiden gebrochenen Strahlen kennt, ohne noch die Lage der Axen zu kennen. Nach Biot's Vergleichungen mit seinen höchst sorgfältig angestellten Versuchen hat sich diese Theorie als mit den Versuchen übereinstimmend gezeigt, und er giebt für die Richtung der Polarisation des Strahls folgende Regel an. Man lege durch den gewöhnlich gebrochenen Strahl und jede der optischen Axen eine Ebene, so ist er polarisirt in einer Ebene, die zwischen jenen beiden in der Mitte liegt; man lege durch den zweiten Strahl und jede der Axen eine Ebene, so ist er polarisirt senkrecht gegen eine Ebene, die zwischen beiden Ebenen in der Mitte liegt. Diese Regel, von der wir in nr. 85 Gebrauch machten, glaubt er, zeige alle die Verschiedenheiten der Far-

1. Mém. de l'Acad. III. 237.

Digitized by Google

benlinien, die Richtung der sie durchschneidenden dunkeln Linien u. s. w.[1]. Alle Erscheinungen würden dadurch mit geometrischer Strenge dargestellt.

VIII. Farben-Erscheinungen in Glase und andern nicht krystallisirten Körpern.

96. Nach den bisher mitgetheilten Erfahrungen und theoretischen Betrachtungen sollte man erwarten, daſs Krystalle mit drei auf einander senkrechten Axen und unkrystallisirte Körper, da sie zur doppelten Brechung unfähig sind, auch keine Erscheinungen der Depolarisation, keine Farben u. s. w. darstellen würden. Gleichwohl ſand Brewster bei Fluſsspath, Kochsalz und Diamant, wo hiernach keine doppelte Brechung statt finden sollte, Farben-Erscheinungen. An seine Beschreibung dieser Erscheinungen[2] knüpſt er folgende Bemerkung. Diese Körper scheinen in demselben Stücke zuweilen drei verschiedene Structuren zu verbinden, indem sie an einigen Stellen so wirken, wie es die Körper thun, deren Axen man eine attractiv wirkende Kraft zuschreibt, an andern Stellen so, wie die repulsiv wirkenden; in den zwischen liegenden Theilen zeigen sie gar keine Wirkung, die auf doppelte Brechung schlieſsen lieſse. Die Kräfte, welche die Bildung der Krystalle bewirken, scheinen also nach solchen Gesetzen zu wirken, daſs in diesen Fällen eigentlich genaue Cuben, Octaeder u. s. w. hervorgehen sollten; bei der geringsten Störung dieser Wirkung aber mögen Abweichungen von jener Form und zwar bald übergehend in die attractive (positive) bald in die repulsive (negative) Classe statt finden. Diese Erfahrung von einer solchen nach beiden Seiten hin statt findenden Abweichung bestätigte also die Ansicht, daſs die jedem Minerale eigene primitive Structur die doppelte Strahlenbrechung und die Classe bestimme, wozu das Mineral gehöre.

97. Noch merkwürdiger aber ist die Erscheinung regelmäſsiger Farbenringe oder Farbenlinien im Glase. Seebeck und Brewster haben diese unabhängig von einander entdeckt, und diese Figuren haben den Namen der *Seebeck'schen*

---

1 Mém. de l'Acad. III. 233. 234.

2 Tb. Transact. of the Edinb. Soc. VIII. 157.

Digitized by Google

Figuren erhalten. Seebeck machte nämlich die Bemerkung, daſs manche Gläser, wenn sie zwischen den beiden Spiegeln des Polarisations-Instruments gehalten werden, mehr oder minder deutlich im zweiten Spiegel ein schwarzes Kreuz mit Farbenbogen darstellen, wenn die Reflexions-Ebenen der Spiegel auf einander senkrecht sind [1]. Dicke Gläser schienen für die Erscheinung angemessener; aber selbst unter zwei anscheinend gleichen Gläsern fand sich zuweilen das eine Farben gebend, das andere nicht, und die Umstände, worauf dieses beruhet, schienen sich nicht leicht bestimmen zu lassen, bis endlich der Umstand, daſs ein Figuren zeigendes Glas beim Zerschneiden völlig in kleine Stücke zersprang, während ein anderes Glas von derselben Art sich gut schneiden lieſs, einen befriedigenden Aufschluſs über diese Ungleichheit gab. Die plötzlich abgekühlten Gläser haben bekanntlich die Eigenschaft, wegen ihrer groſsen Sprödigkeit leicht in kleine Stücke zu zerspringen, und es lieſs sich also nun wohl schlieſsen, daſs die zu schnell abgekühlten Gläser die Figuren zeigenden wären. Versuche mit Springkölbchen bestätigten diese Vermuthung, und eigene Versuche, wo Gläser, die keine Figuren gezeigt hatten, diese Eigenschaft erhielten, nachdem sie glühend gemacht und an freier Luft abgekühlt waren, setzten es auſser Zweifel, daſs man dem Glase diese Eigenschaft so ertheilen könne. Wurde die glühende Glasscheibe mit einer an den Spitzen glühenden Zange zwischen den Spiegeln gehalten, so sah man keine Farben im Spiegel; aber schon während des Abkühlens entstand zuerst an der von der Zange am meisten entfernten Ecke, dann an beiden andern Ecken, zuletzt an der Ecke, wo die Zange das Glas faſste, ein heller Punct, der sich nach und nach erweiterte und ein schwarzes Kreuz übrig lieſs; in dem hellen Raume traten zuweilen auch Farben von Weiſs umgeben hervor. Wurde ein Figuren zeigendes Glas glühend gemacht und langsam abgekühlt (unter glimmenden Kohlen in einem Ofen), so hatte es jene Eigenschaft verloren.

Schwächer erhitzte und an der Luft abgekühlte Glasscheiben zeigten einzeln keine Figuren, sondern man muſste

---

1 Schweigg. Journ. VII. 284. und XII. 1. Arago hatte eine oberflächliche Beobachtung hierüber schon früher gemacht. Gilb. XL. 156.

mehrere auf einander legen, um wenigstens einigermaſsen das schwarze Kreuz zu erkennen.

98. Die Figuren selbst bestimmte auch Seebeck schon für verschiedene Formen der Gläser. Sind es quadratische Gläser, welche, ohne daſs die eine Seite schneller als die andre gekühlt ist, diese Eigenschaft erlangt haben, und die man dem polarisirten Strahle so aussetzt, daſs die Seiten mit der Polarisations-Ebene des aus dem ersten Spiegel polarisirt hervorgehenden Strahls parallel oder auf dieselbe senkrecht sind, so sieht man im zweiten, auch auf den Polarisationswinkel gestellten Spiegel, wenn die Reflexions-Ebenen beider auf einander senkrecht sind, folgendes. In allen schnell gekühlten Gläsern zeigt sich mitten ein schwarzes Kreuz, dessen Arme den Seiten des Glases parallel, also mit der ersten Reflexions-Ebene parallel und darauf senkrecht sind. Diese Gegenden des Glases ertheilen also dem durch das Glas gehenden Lichte nicht die Fähigkeit, vom zweiten Spiegel reflectirt zu werden, die vier Felder an den Ecken des Glases zeigen sich dagegen hell, und in ihrer Mitte sind farbige Flecke, so daſs das dort durchgegangene Licht entweder gänzlich oder doch in Beziehung auf gewisse Farben depolarisirt, der Zurückwerfung fähig geworden ist. Wenn nur *eine* Glasplatte von einigen Linien dick angewandt wird, so erscheinen beinahe in der Mitte jedes Feldes bräunliche Flecken; aber wenn man zwei gleiche Gläser auf einander legt, so tritt meistens schon ein bläulicher, rundum mit braun und einem gelblichen Rande umgebener Fleck hervor. Bringt man mehrere gleiche quadratische Gläser mit den Rändern auf einander passend in den polarisirten Strahl, so treten immer neue Farben aus jenen Farbenflecken hervor und es zeigt sich je mehr und mehr deutlich, daſs das schmaler gewordene, nun mit einem bläulichen Rande eingefaſste, schwarze Kreuz gegen jeden jener Mittelpunkte zu sich an eine Farbenreihe anschlieſst, die der Newton'schen Farbenreihe entspricht. Das schwarze Kreuz selbst stimmt mit dem schwarzen Flecke in den Newton'schen Farbenringe überein, es ist mit einem bläulichen Rande umgeben, der in Weiſs übergeht und dieses Weiſs ist an der andern Seite mit einem gelben und rothen Bogen begrenzt; die folgenden Farbenbogen bieten, gegen ihren Mittelpunct zu fortschreitend, fast strenge die Newton'sche Farbenfolge dar, welche bei Newton's Farbenringen

in entgegengesetzter Ordnung vom Mittelpuncte aus sich folgen. Je dicker das Glas ist, oder je zahlreicher die zusammengelegten Gläser sind, desto mehr Farbenbogen und ganze Farbenringe sieht man um jene gegen die Ecken zu liegenden Mittelpuncte, und desto mehr gehört die in den Mittelpuncten selbst sich zeigende Farbe einem entfernteren Farbenringe der Newton'schen Farbenfolge, einer Farbe höherer Ordnung, an.

Diese Figuren ändern sich zwar, wenn man die Glasplatte in ihrer Ebene dreht, aber sie hängen so sehr von der äuſsern Form und Begrenzung der Gläser ab, daſs wenn man jene quadratische Platte in vier Quadrate zerschneidet, jedes wieder in der Mitte das Kreuz und ganz dieselben Figuren darbietet. Jene Mittelpuncte der Farbenringe, die man allenfalls mit den Polen der Farbenringe in Krystallplatten vergleichen möchte, wenn hier nicht die entgegengesetzte Ordnung der Farben statt fände, entsprechen also nicht, wie bei den Krystallen mit zwei Axen, einer gewissen Neigung des zum Auge gelangenden Lichtstrahls[1]. Wenn man dem Glase dreieckige oder andere Gestalten giebt, so zeigt sich auch da die Abhängigkeit von der Form des Glases, statt daſs bei den Farbenringen in den Krystallen auf diese Form der Platten nichts ankommt.

99. Brewster gelangte durch eine andere Reihe von Erfahrungen zur ersten Kenntniſs von diesen Figuren, setzte aber dann die Untersuchung mit seiner so oft bewiesenen Beharrlichkeit und mit groſsem Scharfsinn viel weiter fort, als Seebeck. Er bemerkte, daſs ein bis zum Glühen erhitzt gewesenes Glas das Licht während des Abkühlens depolarisire, aber nachher diese Eigenschaft nicht mehr zeige. Da er aber vermuthete, bei sehr schneller Abkühlung möge diejenige Structur des Glases dauernd bleiben, wodurch die Depolarisirung bewirkt wird, so machte er den Versuch mit Glastropfen, die schnell gekühlt waren, und fand sie, besonders in der Nähe des Fadens, als sehr geeignet, die Erscheinungen der Depolarisirung zu zeigen[2]. Diese Bemerkungen waren indeſs nur die Einleitung zu einer langen Reihe sehr sorgfältiger

---

1 Brewster bemerkt, daſs der Analcim sich in dieser Hinsicht einigermaſsen ähnlich zeigt, und sich von andern Krystallen unterscheidet. Edinb. Ph. Tr. X. Baumgartners Zeitschr. II. 28.

2 Ph. Tr. 1814. 436.

Digitized by Google

Versuche, aus denen die wichtigsten Folgerungen hervorgingen.

100. Es wurde[1] der eine Rand einer rechtwinkelig viereckigen Glasplatte auf eine glühende Eisenstange gesetzt, ein polarisirter Strahl ging senkrecht durch die Platte, und wenn man diesen Strahl mit Hülfe eines zweiten, auf den Polarisationswinkel gestellten Spiegels, dessen Reflexions-Ebene senkrecht gegen die ursprüngliche Polarisations-Ebene war, beobachtete, so zeigten sich Farben-Erscheinungen. Diese zeigten sich indeſs nicht, wenn die der schnellen Erhitzung ausgesetzte Seite der Glasplatte einen Winkel von 0° oder 90° mit der ursprünglichen Polarisations-Ebene machte, sondern traten nur bei andern Lagen und am schönsten, wenn dieser Winkel 45° betrug, hervor. Nachdem die Platte eine Weile der ungleichen Erhitzung ausgesetzt war, zeigte sich die Glasplatte in drei mit der erhitzten Seite parallele Felder getheilt, indem Fig.
zwei schwarze Streifen, welche verschiedene Farbensysteme 110.
trennten, mit jener Seite parallel wahrgenommen wurden. In dem Felde, welches an die erhitzte Seite grenzte und in dem gegenüber stehenden, von jener am meisten entfernten, Felde zeigen sich einerlei Farben, und zwar so, daſs vom schwarzen Streifen nach den Rändern zu sich die Farben so folgen, wie in den Newton'schen Farbenringen, wenn man von dem Schwarz in der Mitte ausgeht. In dem mittlern Felde findet sich eben diese Farbenfolge, wenn man von jedem der schwarzen Streifen gegen die Mitte des Feldes geht. Ist die Platte nur ebenso lang oder wenig länger, als die glühende Eisenstange, an welcher sie ihrer Länge nach anliegt, so verbinden sich mit jenen Streifen noch schwarze Endstreifen, die das mittlere Feld nahe an beiden Enden der Platte senkrecht begrenzen, und in den beiden Seitenfeldern gegen die vier Ecken zu fortlaufen, wie die Zeichnung dieses darstellt. Was jene Fig.
mit der erhitzten Seite parallelen Streifen betrifft, so ist der 110.
Gang ihres Entstehens bei der zunehmenden Erwärmung der Platte folgender. Zuerst zeigt sich fast gleichzeitig an der erhitzten Seite AB und an CD eine nach der Mitte zu vorrückende weiſse Welle, die das Schwarz des vorhin dunkel erscheinenden Glases vor sich hertreibt. Ihnen entgegen breitet

1 Ph. Tr. 1816. 46.

sich eine weiſse Welle von der Mitte EF her aus, und diese drängen gleichsam das Schwarz in den in der Figur angezeigten, die drei Felder trennenden schwarzen Linien zusammen. Eine gelbe Welle, dann eine orangefarbene, dann eine rothe drängen sich hierauf von der erhitzten Seite AB vorwärts, und ihnen folgen die Farben der zweiten und der höheren Ordnungen, zuweilen bis zur zehnten Ordnung, in dem an AB anliegenden Felde. Später gehn eben diese Farbenfolgen von CD aus, und auch von der Mitte EF gehn solche Farbenwellen gegen die schwarzen Linien zu. Aber nie verdrängt die gelbe Welle das Weiſs ganz, nie das Orange ganz das Gelb u. s. w., sondern es bildet sich vom Schwarz an die Farbenſolge gegen die Mitte und gegen beide Ränder zu. Diese Zunahme der Farbenstreifen dauert aber nur eine Zeit lang; sobald die Erhitzung der Glasplatte sich der Gleichförmigkeit nähert, vermindert sich, vorzüglich in dem Felde zunächst an AB, die Anzahl der Streifen, später vermindert sie sich auch in den übrigen Feldern, und endlich verschwinden selbst die schwarzen Streifen, wenn die Erwärmung der Gleichförmigkeit nahe kommt. Beschleunigt man, nachdem diese eingetreten ist, die Abkühlung an dem einen Rande der Platte durch ein daran gehaltenes kaltes Eisen, so treten ähnliche Erscheinungen ein. Sind die Platten schmal, so sind die beiden äuſsern Felder nicht sehr ungleich, sind die Platten über zwei Zoll breit, so ist das erhitzte Feld schmaler und mit enger an einander liegenden Farbenstreifen geziert, als das an der andern Seite, und auch das mittlere Feld ist in zwei ungleiche Hälften durch die Linie getheilt, welche die Farbe der höchsten Ordnung darbietet.

101. Wenn die ungleichförmig erhitzte Platte dem polarisirten Strahle ausgesetzt wurde und man brachte mit ihr parallel eine Gypsplatte an, die auch nur eine eben solche in den ersten Farbenringen liegende Farbe zeigte, wie die Glasplatte, so gingen in den beiden äuſsern Feldern die Farben herunter, oder verhielten sich, wie es dünnern Blättchen angemessen ist, wenn der Hauptschnitt des Gypsblättchens parallel der erhitzten Seite war; dagegen ging die Farbe den höhern Ordnungen zu, wenn der Hauptschnitt des Blättchens senkrecht auf die erhitzte Seite war. In dem mittleren Felde fand das Entgegengesetzte statt. Brewster nimmt daher an,

Digitized by Google

daſs die äuſseren Felder ebenſo, wie die poſitiven Kryſtalle (Zircon, Quarz) wirken, das mittlere Feld dagegen wie die negativen Kryſtalle (Doppelſpath, Beryll). Die zunächſt an den ſchwarzen Streifen liegenden Theile des Glaſes wirken am ſchwächſten auf die Polariſation, und in den ſchwarzen Streifen ſelbſt iſt gar keine Einwirkung, welche an den entgegengeſetzten Seiten auf entgegengeſetzte Weiſe hervortritt. Die äuſseren Felder geben alſo dem einen bei der doppelten Brechung entſtehenden Strahle eine Voreilung, ſtatt daſs das mittlere Feld dem andern eine Voreilung giebt.

Hieraus läſst ſich leicht erklären, ja vorausſehn, was geſchehn muſs, wenn mehrere ſolche erhitzte Platten auf einander gelegt werden. Werden Platten von gleicher Geſtalt und Gröſse ſo vereinigt, daſs ſie in gleicher Lage, die erhitzten Seiten zuſammenfallend, auf einander liegen, ſo gehn die Farben zu höhern Ordnungen über und eben dieſes iſt auch der Fall, wenn man ſtatt einer dünnern Platte eine dickere anwendet; legt man aber die Platten gekreuzt auf einander, ſo gehn an den gleichartigen Stellen, die auf einander fallen, Farben, die dem Unterſchiede der Dicke angemeſſen ſind, oder Farben niedrigerer Ordnung, ja ſelbſt das vollkommene Schwarz hervor, da hingegen, wo ungleichartige Theile des Glaſes ſich durchkreuzen, gehn Farben höherer Ordnungen hervor. Die 111te Figur zeigt ein Beiſpiel dieſer Wirkung. Fig. 111.
Die beiden Platten waren durch Erhitzung an der einen Seite in einen übereinſtimmenden Zuſtand ungleichförmiger Erhizzung verſetzt, ſo daſs ſie, wie man an den Theilen, wo ſie ſich nicht einander bedecken, in der Figur ſieht, die Theilung in drei Felder zeigten, in welchen von den ſchwarzen Linien an die Farben in der bekannten Ordnung folgten. In der Mitte, wo ſie ſich kreuzend einander bedecken, ging ein ſchwarzes Kreuz hervor, weil die gleichartigen Mittelfelder als vollkommen gleich dicke Platten mit ſich kreuzenden Axen wirkend, das Schwarz, den Mittelfleck der Newton'ſchen Ringe gaben, und eben dieſes da ſtatt fand, wo ſich die äuſsern Felder durchkreuzten; dahingegen, wo die äuſsern Felder einen Theil des mittlern Feldes deckten, ging aus dem Weiſs dieſer Felder ein reineres Weiſs oder ſelbſt eine Farbe höherer Ordnung hervor.

Je gröſser die Hitze iſt, deſto mehr hat ſowohl die erhitzte

Seite selbst, als auch die gegenüberliegende Seite und die Mittellinie des mittlern Feldes eine den entfernteren Farbenringen, den höheren Ordnungen angehörende Farbe. Diese Ungleichheiten hängen hauptsächlich von dem Gesetze der Temperaturverschiedenheit in den einzelnen Theilen des Feldes ab, welches zwischen der erhitzten Seitenlinie und der ersten schwarzen Linie liegt, indem die entfernteren Theile ihre Temperatur nicht so sehr ändern. Selbst die Theile des Glases also, an denen kaum eine Aenderung der Wärme bemerkt wird, müssen entweder eine krystallinische Structur annehmen, oder zeigen doch Wirkungen, denen der Krystalle ähnlich.

102. Wenn die Einwirkung des Glases auf den polarisirten Strahl dadurch hervorgebracht wird, daſs ein gleichförmig erhitztes Glas sich ungleichförmig abkühlt, indem man die eine Seite auf ein kaltes Eisen legt, so üben die beiden äuſseren Felder die Wirkung negativer Krystalle aus, das mittlere dagegen wirkt den positiven gleich. Die ganze Wirkung ist also der von der einen Seite ausgehenden Erhitzung entgegengesetzt. Dieses zeigte sich durch mehrere Versuche, unter andern wenn man Gläser, die von der einen Seite her erhitzt, und Gläser, die von der einen Seite her gekältet waren, in übereinstimmender oder in gekreuzter Lage combinirte. Wurden sie nämlich gekreuzt auf einander gelegt, so gingen in
Fig. 112. d, d, d, d, wo die äuſsern Streifen der einen Platte mit den mittlern Streifen der andern gekreuzt waren, die Farben zu niedrigern Ordnungen über und stellten wohl gar das Schwarz dar, wie es bei gleichartigen und gleichdicken Krystallen, wenn die Axen gekreuzt sind, statt findet; in c, c, c, c hingegen, wo sich die äuſseren Streifen mit den äuſsern kreuzten, gingen Farben höherer Ordnungen hervor. Waren die Farben, die man bei gleichen Gläsern durch die Erhitzung der einen Seite bei dem einen, und durch die Abkühlung der einen Seite bei dem andern hervorgebracht hatte, genau gleich, so zeigten sie
Fig. 113. bei der durchkreuzenden Lage eine schöne Veränderung. Brewster verband zwei solche Gläser, die in der Mitte des mittlern Feldes Gelb zeigten; in diesen ging in der Mitte ein tief blauer kreisförmiger Fleck hervor, weil die sich durchkreuzenden ungleichartigen Mittelfelder eine Farbe höherer Ordnung erhalten. Von diesem mittlern Flecke gingen die Farben herab, weil die hier entstehende Farbe anzusehn ist als einer

Digitized by Google

Zahl entsprechend, die als Summe der dem Gelb der einen Mittellinie zugehörigen, addirt zu einer geringern (der mehr seitwärts liegenden Farbe entsprechenden) Zahl nicht so hoch in der Newton'schen Scale steigt. So gingen die Farben bis zum Schwarz herab, das man als ein wenig auſserhalb der schwarzen Grenzlinien der Felder liegend ansehn muſs. Da, wo die Seitenfelder sich mit dem Mittelfelde kreuzten, ging eine beinahe schwarze Färbung bis an die Ränder, an den Ecken aber, wo die Seitenfelder sich kreuzten, traten Theile farbiger Ringe hervor, die mit ihren Farben steigend von der Mitte ab fortschritten, indem die äuſsersten Ränder ja am höchsten in der Farben-Ordnung standen.

103. Wenn die Erhitzung der Glasplatte von einem Mittelpuncte ausgeht, so sind die Farbenstreifen kreisförmig, aber vier auf einander senkrechte dunkle Radialstreifen durchschneiden die Farbenringe, und diese Radialstreifen liegen in der Ebene der ursprünglichen Polarisation und senkrecht auf dieselbe. Die Uebereinstimmung dieser Erfahrung mit allem vorigen erhellet leicht. In den vorigen Experimenten nämlich war immer die Seite der erhitzten Glasplatte 45° gegen die Ebene der primitiven Polarisation geneigt, und dann erschienen die Streifen der erhitzten Seite parallel, dagegen trat die Depolarisirung nicht ein, wenn die erhitzte Seite mit der ursprünglichen Polarisations-Ebene zusammen fiel oder darauf senkrecht war.

104. Diese Versuche und mehrere andere betrafen die Erscheinungen in Gläsern, die noch in dem Zustande ungleicher Erwärmung sind. Aber wenn man glühende Gläser schnell abkühlt, so dauern die Farben nicht bloſs während der Abkühlung, sondern bleiben auch nachher permanent. Die Farbe, welche diese Gläser an der Seite, an welcher ein kaltes Eisen die Abkühlung am schnellsten beförderte, zeigten, gehörte, je dicker die Gläser waren, desto höhern Zahlen in der Newton'schen Tafel an, und zwar so, daſs die Dicke in eben dem Maſse zunahm, wie die den Farben zugehörenden Zahlen in Newton's Scale.

Diese schnell gekühlten Gläser zeigen beim Zerschneiden die schon zum Theil von Seebeck bemerkten Eigenschaften. Hatte die Platte beim Abkühlen die Veränderung erlangt, daſs sich die dunklen Streifen und die Farbenstreifen so, wie in

Digitized by Google

Fig. 114. der 114ten Figur zeigten, so reichte ein Zerschneiden nach der
Fig. 115. Linie AB hin, um die in der 115ten Figur dargestellten Streifen in den so entstandenen zwei Gläsern hervorzubringen; jede Hälfte war nun das geworden, was sie einzeln abgekühlt geworden wäre. Dieses ist um so merkwürdiger, da einige Theile der Platte, die vorhin den positiven doppelt brechenden Krystallen gleich waren, nun den negativen gleich wirken und umgekehrt. Nach andern Versuchen von Brewster gehen solche Aenderungen schon bei unbedeutend scheinenden Aenderungen der Gestalt hervor[1]. Ein genau kreisförmiges Glas zeigte bloſs Kreisringe mit dem der ursprünglichen Polarisations-Ebene entsprechenden schwarzen Kreuze; sobald aber nur die kleinste Quantität an zwei gegen einander über stehenden Seiten abgefeilt und dadurch die Platte etwas elliptisch gemacht wurde, so änderten die Farbenstreifen sich so, daſs man in der Mitte eine den negativen Krystallen entsprechende, an den ein wenig abgefeilten Seiten eine den positiven Krystallen entsprechende Structur wahrnahm. Sobald man durch Abfeilung an den beiden zwischenliegenden Quadranten die Kreisform herstellte, so stellte sich auch die erste gleichmäſsige Gestalt der Ringe wieder her.

105. Wenn die glühenden Platten in der Luft schnell gekühlt sind, so zeigen sie, wenn sie erheblich dick sind, nach jeder Richtung, wenn man durch sie sehend den polarisirten Strahl empfängt, Farbenlinien, die mannigfaltig verschieden sind. Ueber diese Figuren geben die Versuche mit einem längern Glasparallelopipedon noch einige Auskunft. Wenn dieses mit seinen Seiten 45° gegen die Polarisations-Ebene geneigt war, so zeigte es die Längenstreifen und Endstreifen; stellte man aber eines oder das andere Paar der Seiten mit der Polarisations-Ebene parallel, so verschwanden alle Farben und die ganze dicke Platte zeigte sich, wie gewöhnliches Glas, dunkel, nur an den Ecken waren vier helle oder farbige Felder, die also nun das polarisirte Licht immer noch depolarisirten. Zwei dieser Ecken, die diagonal einander gegenüber standen, wirkten so, wie es bei gleich liegenden Axen der Fall ist, die andern zwei so, als ob ihre Axen senkrecht gegen jene lägen. Wählte man ein Gypsblättchen, das gleiche

1 Edinb. Ph. Tr. Vol. VIII. 365.

Digitized by Google

Farben mit jenen Eckfeldern zeigte, und legte es, mit 45° gegen die Polarisations-Ebene geneigtem Hauptschnitte, auf die Platte, so gingen zwei Eckfelder in Schwarz über, wie es bei gekreuzten Axen gleich wirkender Blättchen der Fall ist, die beiden andern Eckfelder aber gingen zu Farben entfernterer Ringe (zu höhern Ordnungen) über, wie es bei parallelen Axen des Gypsblättchens und der Glasplatte seyn muſste. Eben darum steigen in den quadratischen Platten, wenn sie einander deckend auf einander liegen, die Farben zu höhern Ordnungen, je mehr ihrer sind, dagegen steigen sie herab, wenn sie wie AB, CD Fig.
auf einander liegen. Da dieses die gewöhnlichste Art ist, die 116.
Seebeck'schen Figuren zu zeigen, so will ich zu dem, was ich in nr. 98. erwähnt habe, noch hinzusetzen, daſs zwar, wenn gleiche quadratische Gläser sich deckend auf einander liegen, desto mehrere Farbenringe die gegen die Ecken hin liegenden Mittelpuncte umgeben und desto mehr die Farben höherer Ordnung diese Mittelpuncte einnehmen, daſs dagegen, wenn die Gläser sich so, wie in der Zeichnung dargestellt ist, bedecken, die Farben in den Ecken G, H herabgehn oder auch wohl ganz in Weiſs übergehn.

106. Brewster schloſs anfangs aus diesen Versuchen, daſs das Glas eine Krystallisation annehme, wo die Krystalle eine ihrer Axen in die Richtung des Wärmestroms, durch den diese Structur hervorgebracht wurde, wenden. Bei schnell nach allen Richtungen gekühlten Gläsern müſsten daher, schloſs er, die Axen der Krystalle in E senkrecht auf AD, in J dagegen mit AJ zusammenstimmend liegen. Hierdurch wird das schwarze Kreuz in den quadratischen Platten, wenn AD parallel oder senkrecht auf die Ebene der primitiven Polarisation ist, erklärt, indem für EF, LK keine Depolarisirung statt findet, da in diesen Linien die Axen mit der Polarisations-Ebene zusammenfallen oder darauf senkrecht sind. Aber in einer spätern Abhandlung bemerkt Brewster selbst[1], daſs diese Erklärung nicht ausreiche. Er sucht diese Veränderungen nun mit der Voraussetzung, daſs unter gewissen Umständen nur eine Axe, welche auf die doppelte Brechung wirkt, vorhanden sey, in andern Fällen zwei Axen, in Verbindung zu bringen; aber diese Untersuchungen hier mitzutheilen würde zu weit führen, und

1 Edinb. Ph. Tr. Vol. VIII. 367.

so scharfsinnig sie entwickelt sind, so möchten sie doch wohl noch einer neuen Prüfung sehr bedürfen.

Andere Versuche, die Brewster über Gläser mit einem feinen Risse (wo der getrennte Theil seine eigenen Farbenlinien annahm, so lange der Riſs kenntlich blieb, aber sich, als ob es nur *ein* ungetheiltes Glas wäre, an den übrigen Theil anschloſs, wenn der Riſs sich durch die Wärme schloſs), über erhitzten Fluſsspath und andere nur bei Erhitzung Farben zeigende Krystalle anstellte, muſs ich übergehn.

107. Eine zweite Reihe von Versuchen hat Brewster über die Ertheilung dieser Eigenschaften durch bloſs mechanische Verdichtung und Ausdehnung angestellt [1].

Wenn man ein Glas zwischen Schrauben preſst, so zeigt es ähnliche Veränderungen. Ist nämlich die Richtung des Drucks 45° geneigt gegen die erste Polarisations-Ebene, so zeigt sich eine Depolarisirung des Lichts, indem ein Weiſs oder selbst ein Orange der ersten Ordnung hervorgeht. Nimmt man einen langen Glasstreifen und beugt ihn mit der Hand, so zeigen sich an der convexen, also durch Ausdehnung veränderten Seite und ebenso an der concaven, durch Zusammenpressung veränderten Seite Farbenstreifen, die durch eine schwarze Mittellinie geschieden sind. Bei Anwendung einer etwas stärkern Kraft können sich drei bis vier Farben-Ordnungen entwickeln, ja selbst noch mehrere, und diese gehn an beiden Seiten auf die bekannte Weise vom Schwarz aus. Die schwarze Linie zeigt die Gegend, wo keine Aenderung des Glases statt findet, und die Farben, welche in den übrigen Theilen des Glases hervorgehn, entsprechen dem Grade der Verdichtung oder Ausdehnung der Glastheile; die den Farben entsprechenden Zahlen sind dem Abstande von der schwarzen Linie proportional. Die Lage der Farbenstreifen in einem 6 Zoll lan-
Fig. gen, 1½ Zoll breiten und ¼ Zoll dicken Glase stellt die Zeich-
117. nung dar. Hier sieht man also, in welcher Anordnung die gleicher Spannung ausgesetzten Theile liegen oder wenigstens in welcher Anordnung die eine gleiche Wirkung auf das Licht ausübenden Theilchen sich befinden. Die Wirkung der ausgedehnten Theile des Glases ist den positiven Krystallen, die der zusammengepreſsten Theile ist den negativen Krystallen

1 Phil. Tr. 1816. 156.

entsprechend. Wenn man daher ein durch äuſsere Gewalt gekrümmt erhaltenes Glas, das in der Mitte den schwarzen Streifen zeigt, mit einem eben so gekrümmten Glase gekreuzt auf einander legt, so sind die Erscheinungen wie in der 118ten Figur. Fig. 118. Die Depolariſirung in beiden concaven Seiten und ebenso die in beiden convexen Seiten wird bei der Kreuzung aufgehoben, daher zeigt sich zwischen den Ecken, wo gleichnamige Theile sich kreuzen, die schwarze Diagonale mn. Die der Länge nach durch die Gläser gehenden schwarzen Linien zeigen sich unterbrochen, weil das in der einen Platte depolariſirte Licht durch das in dieser Gegend unveränderte zweite Glas durchgelassen wird; in den Ecken o, p aber zeigen sich die Farben entfernterer Farbenringe, oder die Farben steigen in der Scale, so wie es beim Kreuzen der Axen positiver und negativer Krystallplatten geschieht.

108. Daſs diese Farben-Erscheinungen in Glase nothwendig an eine durch die Ungleichheit der Ausdehnung hervorgebrachte doppelte Brechung geknüpft seyn müssen, läſst sich nach allen bisher erklärten Farben-Erscheinungen wohl mit Grunde schlieſsen. Fresnel hat durch Zusammenpressung von Prismen auch wirklich gezeigt, daſs ein doppelter Strahl hervorgeht, oder das Glas wirklich unter dem ungleichen Drucke eine eben solche Spaltung des Strahls bewirkt, wie die doppelt brechenden Krystalle[1].

Ob man nun hieraus auf eine in der innern Structur der Körpertheile vorgegangene Veränderung schlieſsen darf, ob man nämlich, wie Brewster, eine krystallische Structur, die so entstanden sey, annehmen solle, das bleibt immer noch zweifelhaft, indem die bloſse Aenderung der Lage, die daraus entstehende ungleiche Einwirkung auf den Aether, in welchem nach der Undulationstheorie sich auch im Innern des festen Körpers das Licht fortpflanzt, zur Hervorbringung dieser Wirkungen auf das Licht wohl zureichen dürfte. Nach Fresnel's Ansicht muſs man alle Wirkungen einaxiger Krystalle hervorbringen können, wenn man das Glas nach *einer* Richtung preſst, und die Wirkungen zweiaxiger Krystalle, wenn man es nach zwei auf einander senkrechten Richtungen preſst. Es ist nämlich einleuchtend, daſs unter diesen Umständen die Ein-

1 S. Art. *Brechung*. S. 1195. und Poggend. XIX. 539.

Digitized by Google

wirkung der nach *einer* oder nach *zwei* Richtungen einander genäherten Theilchen auf den Aether nicht mehr nach allen drei Dimensionen des Raums gleich seyn wird, daſs deshalb die Elasticität des Aethers nach den verschiedenen Richtungen ungleich seyn und so eine Spaltung des Lichtstrahls hervorgebracht werden wird, wie die Undulationstheorie es angiebt.

Diese durch die Einwirkung auf das Licht uns kenntlich werdenden Aenderungen stehn mit den Elasticitäten der Körpertheile selbst, die ebenfalls in verschiedenen Richtungen ungleich sind, nicht in einer streng nachzuweisenden Verbindung; denn Savart konnte bei seinen Versuchen über Klangfiguren keine Uebereinstimmung zwischen den Axen der Elasticität, die aus den Klangversuchen sich ergeben, mit den optischen Axen finden [1].

109. Jene Veränderungen durch Druck glaubte Brewster anfangs nur in Glas und in solchen Krystallen hervorbringen zu können, welche im natürlichen Zustande keine doppelte Brechung zeigen; aber spätere Versuche zeigten ihm, daſs im Doppelspath und andern doppelt brechenden Krystallen die Wirkung des Drucks nur darum unmerklich geblieben war, weil in den meisten Fällen die Kräfte, welche die natürliche doppelte Brechung bewirken, weit mächtiger sind, als die durch künstliche Mittel hervorgebrachten. Es ist bekannt, daſs jene in der Natur der Krystalle liegenden Kräfte die doppelte Brechung nur sehr schwach hervorbringen, wenn der Lichtstrahl einen geringen Winkel mit der Axe macht, und es lieſs sich daher erwarten, daſs eine senkrecht gegen die Axe wirkende Pressung am leichtesten kenntlich wirken müsse, wenn man die Farbenringe beobachtete, die sich bei Strahlen, die beinahe der Axe parallel sind, zeigen. Wirklich veränderten nun jene kreisförmigen Farbenringe ihre Gestalt, sie wurden an den Seiten, von welchen der Druck ausging, abgeplattet und endlich sogar durch entgegengesetzte Krümmung einwärts gebogen. Bei dieser Beobachtung war es vortheilhaft, den unzerschnittenen Krystall mit Hülfe der Prismen (wie nr. 73.) anzuwenden, doch wurden, um die verschiedenen Wirkungen genau kennen zu lernen, auch zerschnittene Krystalle gebraucht, und es zeigte sich auch hier, daſs die durch Druck

1 Poggend. XVI. 231.

Digitized by Google

hervorgebrachte Wirkung sich mit der Gestalt des angewandten Stücks auf ähnliche Art änderte, wie es vom Glase bekannt war. Die Wirkung einer Krystallplatte, die einem Drucke unterworfen ist, ist dieselbe, wie sie hervorgehn würde, wenn eine nicht durch Druck veränderte Krystallplatte combinirt würde mit einer Platte, in der einzig durch Druck erst die Einwirkungen auf die Polarisation hervorgerufen werden. Daher müssen, weil die Compression der Wirkung negativer Krystalle entspricht, die Farben in den Farben-Ordnungen aufsteigen, wenn ein Doppelspath, überhaupt ein zu der negativen Classe gehöriger Krystall, senkrecht auf die Axe comprimirt wird, und dieses zeigte sich in dem erwähnten Versuche an der Ellipticität der Ringe, die ihre kurze Axe in der Richtung der Zusammendrückung hatten; in gleichem Abstande von der Mitte zeigten sich Farben höherer Ordnungen in der Richtung der drückenden Kräfte [1].

Biot giebt ein Mittel an, auch bei Krystallplatten, die mit der Axe doppelter Brechung parallel geschnitten sind, die Wirkungen des Druckes wahrzunehmen [2]. Man muſs den polarisirten Strahl, ehe er die durch fortwährenden Druck veränderte Krystallplatte erreicht, durch eine andere Krystallplatte gehn lassen, deren Wirkung von eben der Natur und deren Axe senkrecht gegen die Axe jener ist. Da diese beiden mit der Axe parallel geschnittenen Platten dann so wirken, wie eine Platte, deren Dicke nur der Differenz jener gleich ist, so zeigen sich leicht die Farben, und es läſst sich dann auch die Wirkung des zu- oder abnehmenden Drucks, sobald diese Wirkung von gleicher Ordnung ist mit derjenigen polarisirenden Wirkung, die der Differenz der Dicken angemessen ist, wahrnehmen.

110. Zu diesen Veränderungen fester Körper, welche eine Wirkung auf den polarisirten Lichtstrahl bewirken, gehört auch noch die Vibration, in welche ein Glasstreifen bei der Erregung von Längentönen versetzt wird. Biot und Savart haben hierüber einen Versuch angestellt, indem sie den polarisirten Strahl durch ein keine Depolarisirung bewirkendes Glas gehn lieſsen und nun die Erscheinungen im zweiten Spiegel

1 Edinb. Ph. Tr. Vol. VIII. 282.
2. Ann. de Ch. et Ph. III. 386.

Digitized by Google

beobachteten. Da dieser sich in der Querstellung befand, so warf er kein Licht zurück, aber wenn das Glas in Längenschwingungen gesetzt wurde, so gab der Spiegel, wie einen Lichtblitz, das einfallende Licht zurück. Um dieses deutlicher zu sehn, muſste der Lichtstrahl den Glasstreifen nicht nach der Dicke, sondern nach der Breite durchlaufen [1].

111. Aber nicht bloſs ſeste Körper, sondern selbst weiche werden durch Druck fähig, das Licht zu depolarisiren. Auch hierüber hat Brewster Versuche und, so viel mir bekannt, die frühesten Versuche angestellt [2]. Gallerte aus Kalbsfüſsen oder auch Hausenblase zwischen Glasplatten zusammengedrückt zeigt eben solche Farben, wie die äuſsern Farbenstreifen des die Depolarisirung bewirkenden Glases. Läſst man den Druck aufhören, so begegnen sich zwei schwarze Streifen in der Mitte, und wenn man dann die Gläser zu trennen sucht und dadurch die daran haftende Masse ausdehnt, so gehn neue Farben hervor. Läſst man Gallerte an der Luft erhärten, so erlangt sie von selbst ungleiche Dichtigkeit und wirkt dadurch auf das polarisirte Licht auf ähnliche Art, wie es durch Zusammenpressung geschieht. Läſst man halb erhärtete Gallerte unter fortwährendem Drucke ganz erhärten, so behält sie die durch den Druck erlangten Eigenschaften fortwährend. Dünne Schichten von Leim, die an zwei Gläsern erhärtet waren, während der mittlere Theil noch weich erhalten worden, wurden durch eine die Gläser auseinander ziehende Kraft ausgedehnt, und so zeigte eine Schicht von $\frac{1}{15}$ Zoll Dicke ein Roth der fünften Ordnung.

Marx hat eine Gallerte, die hierzu tauglich ist, aus dem Schenkelknochen eines Ochsen, den er mehrere Monate in verdünnter Salzsäure liegen lieſs, bereitet. So entstand eine blätterige Gallerte, deren Lamellen in polarisirtem Lichte die schönsten Farben zeigten. Auch die trocken gewordenen Blättchen zeigten, mit Cassia-Oel getränkt, sehr schöne Farben [3]. Hierher gehören auch Brewster's Untersuchungen über die optischen Eigenschaften, welche eine zwischen zwei Gläsern gepreſste Mischung von Wachs und Harz erlangt, woran er

---

1 G. LXV. 26.
2 Ph. Tr. 1815. 60. 1816. 172.
3 Kastner's Archiv. VIII. 385.

Digitized by Google

Betrachtungen über den Ursprung des doppelt brechenden Gefüges knüpft[1].

112. Daſs auch manche andere Körper depolarisirend auf das Licht wirken, hat schon Malus bemerkt[2], aber auch hier sind Brewster's Untersuchungen am reichhaltigsten[3]. Er theilt die Körper, die zwar depolarisirende Wirkungen zeigen, aber nicht geeignet sind, doppelte Bilder darzustellen, in folgende Classen.

1. Körper, welche das Licht polarisiren und neutrale Axen haben, nämlich bestimmte Richtungen, die mit der Polarisations-Ebene des einfallenden Strahls zusammenfallend keine Aenderung in der Polarisation bewirken. Dahin gehört das Menschenhaar, dessen neutrale Axen parallel und senkrecht gegen die Axe des Haars sind, Coconseidenfäden, Flachsfäden u. a. Diese Körper sind gewiſs vollkommen doppelt brechend, aber ihrer Dünnheit wegen erkennt man die beiden getrennten Strahlen nicht einzeln.

2. Körper, die das Licht in jeder Richtung depolarisiren, aber keine bestimmten Axen zeigen, als Gummi, Wachs, durchsichtige Seife, durchsichtige Häutchen u. a. Hier besitzt gewiſs jede äuſserst dünne Schicht ihre Axen; aber da kein Grund vorhanden ist, warum die Axen der zweiten Schicht mit denen der ersten zusammen fallen sollten, und eben dieses bei den folgenden statt findet, so depolarisiren diese Körper das Licht in allen Richtungen, gerade so, wie es geschieht, wenn man bei Gypsplatten absichtlich mehrere Platten so auf einander legt, daſs die Axen verschiedene Winkel mit einander machen[4]. Der Bernstein zeigt sehr verschiedene Depolarisations-Erscheinungen, die aber nur von dem Einwirken äuſserer mechanischer Ursachen hervorgebracht zu seyn scheinen[5].

3. Körper, die sich denen mit neutralen Axen nähern. Dieses findet bei Körpern statt, die nur aus einigen dünnen

---

1 Poggend. XIX. 527.
2 G. XL. 140.
3 Phil Transact. 1815. 32.
4 Biot's Unters. Ann. d. Ch. et Ph. IV. 90.
5 G. LXV. 20. Auch Brewster's Unters. über Ambra gehören hierher. Edinb. Phil. Journ. Nr. IV. p. 332.

Digitized by Google

Schichten bestehn, deren Axen nicht völlig zusammen fallen. Goldschlägerhäutchen gehört dahin.

4. Körper, die nur einen Theil des Lichts depolarisiren, vermuthlich weil sie aus krystallisirten und unkrystallisirten Theilen gemischt bestehn.

5. Als eine eigenthümliche Art der Depolarisation beschreibt Brewster die im Macis-Oele entstehende, wo sich vier neblige Lichtflecke zeigen[1].

113. Die Ueberzeugung, daſs ein Körper von solchen ungleich dichten Schichtungen, wie die Krystalllinse des Auges, gewiſs eine Wirkung auf polarisirtes Licht zeigen müsse, veranlaſste Brewster, eine sorgfältige Untersuchung hierüber anzustellen. Auf gewöhnliche Weise dem polarisirten Strahle ausgesetzt zeigte sich nichts Deutliches von einer Einwirkung auf das polarisirte Licht, aber als die Krystalllinse eines Kabeljau in ein Glasparallelepipedum mit Canadischem Balsam gelegt wurde, zeigten sich regelmäſsige optische Figuren, die Brewster genau beschreibt und abbildet. Er schlieſst aus dieser Untersuchung, daſs der mittlere Kern und die äuſsere Haut sich in einem Zustande der Ausdehnung befinden, während der dazwischen liegende Theil in einem Zustande der Verdichtung ist. Bei Fisch-Augen ist die Structur der Krystalllinse nicht symmetrisch in allen Richtungen, sondern sie hat eine bestimmte Beziehung auf den Durchmesser, der mit der Axe des Sehens zusammenfällt. Die Hornhaut zeigt ganz ähnliche optische Eigenschaften. Brewster glaubt, daſs diese eigenthümliche Bildung des Auges bestimmt sey, die Abweichung wegen der Kugelgestalt zu verbessern[2].

IX. Circularpolarisation und elliptische Polarisation.

114. Um zu der Erklärung dessen zu gelangen, was man unter kreisförmiger Polarisation, Circularpolarisation (*polarisation circulaire*) und was man unter elliptischer Polarisation (*polarisation elliptique*) versteht, fange ich mit theoretischen Betrachtungen, wie Fresnel sie aufgestellt hat, an. In der

1 Ph. Tr. 1815. 40. 51.
2 Ebend. 1816. 311.

Digitized by Google

gewöhnlichen Polarisation sind, wie schon oft erwähnt worden ist, die Vibrationen, nach Fresnel's Ansicht, senkrecht auf die Richtung des Strahls und senkrecht gegen die Polarisations-Ebene; diese Polarisation kann also mit Recht *geradlinige Polarisation (polarisation rectiligne)* heiſsen. Gehn zwei gleiche polarisirte Lichtstrahlen nach einerlei Richtung fort, so giebt die Theorie, die ich im Art. *Undulation, Undulationstheorie* genauer erläutern werde, an, daſs beim Zusammentreffen zweier gegen einander senkrechter Vibrationen, die um ein Viertel einer Undulationslänge in ihrem Wege verschieden sind, nicht eine geradlinige Vibration, sondern eine mit gleichförmiger Bewegung vollendete Kreisvibration hervorgeht. Die in Bewegung gesetzten Theilchen werden sich von rechts nach links drehn, wenn die Polarisations-Ebene des voreilenden Wellensystems rechts liegt und die Differenz der Wege ein Viertel der Wellenlänge ist; dagegen wird die Bewegung von links nach rechts gehn, wenn zwar die Polarisations-Ebene des voreilenden Strahls rechtsliegend bleibt, aber die Voreilung drei Viertel der Wellenlänge beträgt; daſs es ebenso zwei Fälle entgegengesetzter Art für die entgegengesetzte Lage der Polarisations-Ebene des voreilenden Strahls giebt, ist offenbar. Wegen der vorrückenden Bewegung der Wellen muſs man, um sich die relativen Lagen der Theilchen in jedem Zeitpuncte vorzustellen, sich um die gerade Linie, die wir die Richtung des Strahls nennen, eine sehr enge Schraubenlinie denken, deren Gänge um eine Wellenlänge aus einander liegen; würde diese Schraubenlinie um ihre Axe gleichförmig gedreht, so daſs sie eine Drehung machte während der Zeit einer Undulation, und so, daſs die Theilchen ihre relative Lage behielten, so gäbe dieses ein Bild von der durch jene Zusammensetzung entstandenen Bewegung der Aethertheilchen. Ein Strahl, dessen Theilchen diese Art von Vibrationen vollenden, heiſst *kreisförmig polarisirt.*

Wenn die senkrecht auf einander polarisirten und nach gleicher Richtung gehenden Strahlen nicht um volle Viertel einer Undulationslänge einander voreilen, sondern um Theile der Viertel, so entsteht eine elliptische Vibration, die der vorigen im übrigen vergleichbar ist, nur daſs die Schraubenlinie hier als auf der Oberfläche eines elliptischen Cylinders gezeichnet muſs angesehn werden[1]. Eine solche elliptische Polarisation

1 Ann. de Ch. et Ph. XXVIII. 154.

Digitized by Google

könnte auch entstehn, wenn die Geschwindigkeit und Gröſse der auf einander senkrechten und einander um ein Viertel einer Undulation voreilenden Vibrationen ungleich wäre.

115. Wir können hieran noch eine zweite Betrachtung knüpfen. Wenn zwei senkrecht auf einander polarisirte gleiche Strahlen so in einer Richtung fortgehn, daſs keiner dem andern voreilt, so muſs ganz nach mechanischen Principien aus ihrer gemeinschaftlichen Wirkung dasselbe hervorgehn, als ob *ein* nach der Mittelrichtung polarisirter Strahl da wäre, und man kann daher jeden gewöhnlich polarisirten Strahl als aus zwei gegen einander senkrecht polarisirten Strahlen zusammengesetzt ansehn. Aber man kann auch einen in bestimmter Richtung polarisirten Strahl durch zwei in derselben Richtung polarisirte Strahlen ersetzen, deren einer um ein Achtel der Undulationslänge vorauseilt und der andere um ein Achtel zurückbleibt; und wenn man diese neue Zerlegung auf jene zwei Strahlen anwendet, so folgt, daſs man den nach einer bestimmten Richtung polarisirten Strahl sich als aus vier Strahlen zusammengesetzt denken kann, deren eines Paar mit auf einander senkrechten Polarisations – Ebenen dem ursprünglichen Strahle um ein Achtel einer Undulationslänge voreilt, während das zweite Paar mit auf einander senkrechten Polarisations-Ebenen um ein Achtel einer Undulationslänge hinter dem ursprünglichen Strahle zurückbleibt oder um ein Viertel einer Undulation hinter dem zuerst erwähnten Paare. Könnten nun Fälle vorkommen, wo aus dem ersten Paare der eine sich mit dem gegen ihn senkrecht polarisirten aus dem andern Paare verbände, so brächten diese zwei Strahlen einen kreisförmig polarisirten hervor, und wenn die aus beiden Paaren übrig gelassenen sich nun auch verbänden, so brächten sie ebenfalls einen kreisförmig polarisirten Strahl hervor, und die Aethertheilchen hätten in dem einen eine Kreisbewegung von rechts nach links, in dem andern eine Kreisbewegung von links nach rechts. Sind beide kreisförmig polarisirte Strahlen zugleich da und ohne Differenz der Wege fortgeschritten, so haben wir noch immer nichts anderes als den ersten polarisirten Strahl und unsere Zerlegung kann als bloſs in der Vorstellung statt findend angesehn werden; wäre dagegen durch irgend eine Einwirkung der eine unserer kreisförmig polarisirten Strahlen schneller als der andere fortgepflanzt, so könnten

Interferenz-Erscheinungen entstehn, die vom Unterschiede der vollendeten Undulationslängen abhängen. Daſs diese ganz hypothetische Betrachtung in der Wirklichkeit Anwendung findet, wird sich bei der Erzählung der Erscheinungen zeigen, welche die Quarze, namentlich der Bergkrystall, der Rauchtopas, bei Strahlen, die nach der Richtung ihrer Axe durchgehn, darbieten.

116. Die Farbenringe, welche sich in einaxigen Krystallen darstellen, wenn der polarisirte Lichtstrahl nach der Richtung der Axe durch dieselben geht und dann durch den Turmalin oder einen Doppelspath beobachtet wird, zeigten, so weit die oben mitgetheilte Betrachtung reichte, alle in ihrem Mittelpuncte eine unverändert gebliebene Polarisation des Strahls, und dieselbe unveränderte Richtung der Polarisations-Ebene hatte sich auch in allen den Strahlen erhalten, die in der Ebene der ursprünglichen Polarisation oder in einer gegen diese senkrechten Ebene lagen. Dieses war der Grund, warum sich, wenn die Axe des Turmalins mit der ursprünglichen Polarisations-Ebene zusammenfällt, das die Ringe durchschneidende schwarze Kreuz zeigt, und warum sich bei Anwendung des Doppelspaths eben dieses in dem ungewöhnlichen Bilde zeigt. Von dieser Regel machen der Bergkrystall und andre Quarzkrystalle eine auffallende Ausnahme, indem Platten auf die Axe des Bergkrystalls senkrecht geschnitten zwar unter den angegebnen Umständen Farbenringe zeigen, aber diese weder von einem schwarzen Kreuze durchschnitten, noch im Mittelpuncte schwarz sind. Arago hat diese Eigenthümlichkeit des Bergkrystalls zuerst bemerkt[1], aber den Gegenstand noch nicht sehr aufgeklärt. Biot's Untersuchungen führten dagegen zu bestimmten Gesetzen, denen die Erscheinungen der durch Bergkrystallplatten gehenden Strahlen unterworfen sind[2].

117. Die Untersuchungen Biot's gingen vorzüglich auf die Bestimmung der Gesetze, nach welchen die in der Mitte der Farbenringe sich zeigende Farbe von der Dicke der Platten abhängt, und sind, wie alle ähnliche Untersuchungen die-

1 Mém. de l'Inst. de France. XII. 115.

2 Mém. de l'Inst. de Fr. XIII. 218. Traité de Ph. IV. Ann. de Ch. et Ph. IX. 372. X. 63. Mém. de l'acad. roy. II. 41.

Digitized by Google

ses Gelehrten, mit ausgezeichneter Sorgfalt durchgeführt. Er bediente sich einer ganzen Folge ungleich dicker Bergkrystallplatten, die groſsentheils aus demselben Krystalle geschnitten waren; da bei diesen die Drehung, von der ich sogleich reden werde, von der rechten nach der linken Seite gehn muſste, was Biot so bezeichnet: , so werde ich zuerst von dieser Drehung allein reden, ohne jetzt schon auf den Umstand, daſs bei andern Krystallen die Drehung die entgegengesetzte seyn muſs, Rücksicht zu nehmen. Das polarisirte Licht ging in allen hier zu betrachtenden Fällen in senkrechter Richtung durch die Krystallplatte, so daſs die in der Mitte des Sehefeldes liegenden Strahlen genau mit der Krystall-Axe zusammenfielen; der Doppelspath, durch welchen hierauf der Strahl gehn muſste, um beide Ringsysteme zugleich zu sehn, wurde bei dem Anfange des Experiments immer mit seinem Hauptschnitte der ursprünglichen Polarisations-Ebene parallel gestellt, dann aber nach und nach gedreht, so daſs dieser Hauptschnitt andere Winkel mit der Ebene der ersten Polarisation machte, und diese Winkel werden von jener ersten Stellung auf 0° an gezählt.

Immer, wenn der Doppelspath auf 0° stand, zeigte der mittlere Kreis des ungewöhnlichen Bildes eine Färbung; aber wenn die Krystallplatte nur 0,4 Millimeter dick war, so war diese Färbung eine sehr dunkle, ein tiefes Blau, und eine Drehung von 9°,75 reichte zu, um dieses zu einem höchst dunkeln Purpur zu bringen, so daſs nun das Schwarz des mittlern Kreises beinahe völlig hergestellt war. War die Dicke der Platte = 0,488 Millimeter, so muſste die Drehung schon 11°,5 betragen, wenn das Blau in der Mitte auf die dunkelste Färbung sollte zurückgeführt werden, und so muſste bei noch gröſsern Dicken der Drehungswinkel, um die dunkelste Färbung hervorzubringen, noch mehr betragen, bei 1,184 Millimeter 28°,5, bei 2,094 Mill. 50° u. s. w. Aber bei gröſsern Dicken ist nun auch bei der anfänglichen Stellung des zerlegenden Doppelspaths auf 0° die Farbe in der Mitte nicht mehr blau, sondern schon bei der Dicke von 1,184 Millim. weiſslich blau, bei 3,478 Mill. reines Weiſs, bei 5,044 Mill. schönes Orange, bei 5,985 Mill. lebhaftes Roth, bei 7,082 Mill. Purpur, bei 7,935 Mill. Blau. Offenbar gehn hier die Färbungen der Mitte nach der Newton'schen Farbenreihe fort und die beiden zuletzt genannten Farben gehören schon zur zweiten

Ordnung, so daſs man leicht übersieht, welche Farben bei noch gröſserer Dicke in der Mitte sich zeigen würden. Wenn die Färbung in der Mitte bei der Stellung 0° eine den entfernteren Farbenringen Newton's entsprechende, zum Beispiel das Purpur der zweiten Ordnung ist, so geht diese Färbung bei der Drehung des Doppelspaths zu den niedrigern Farben, dem Roth, Orange, Gelb u. s. w. der ersten Ordnung über, aber die ganz dunkle Färbung wird nun bei keiner Drehung mehr erreicht.

Geht man die ganze Drehung des Doppelspaths durch, so zeigen Biot's Versuche, daſs man bei 90° Drehung genau die Farbe im ungewöhnlichen Bilde in der Mitte sieht, die sich bei 0° Drehung im gewöhnlichen Bilde in der Mitte zeigt, daſs bei $90° + \alpha$ die Farbe im einen Bilde erscheint, die bei der Drehung $= \alpha$ im andern Bilde erschien, und daſs daher bei 180° die ganze Farbenfolge durchlaufen ist und die Erscheinungen genau wiederkehren. Nach meiner eignen Ansicht möchte ich die Erscheinung so beschreiben. Wenn man den Kalkspath mit seinem Hauptschnitte auf 0° gestellt hat, so erscheint der mittlere Kreis farbig, und an diese Farbe schlieſsen sich die Farbenringe so an, daſs sie den Newton'schen Kreisen gleichen, wenn in ihnen die Farben der niedrigsten Ordnung nicht alle vorkommen. Erscheint zum Beispiel das Violett der zweiten Ordnung in der Mitte, so schlieſsen sich hieran die Farben Blau, Grün u. s. w. der zweiten Ordnung an und das gewöhnliche Bild zeigt hierzu die Ergänzungsfarben. Dreht man den Doppelspath auf die Weise, wie es bisher angegeben worden ist, so tritt die nächste niedrigere Farbe, Roth der ersten Ordnung zum Beispiel, in der Mitte hervor und das Violett stellt sich als Ring dar; bei weiterer Drehung tritt das Gelb in der Mitte hervor und das Roth bildet einen Ring, das Grün tritt hervor und drängt das Gelb nach auſsen; dieses Grün erreicht die genaue Ergänzungsfarbe zu dem Violett, womit wir hier anfingen, wenn die Drehung 90° ist. Setzt man die Drehung weiter fort, so wird die Mitte bläulich grün, dann blau, tief blau, und bei 180° hat man dasselbe Violett oder Purpur, womit man angefangen hatte. So scheinen bei fortgesetzter Drehung immer neue Ringe sich aus der Mitte hervorzudrängen, aber man kommt dennoch in dem eben betrachteten Falle nicht ganz zu der dunkeln Schwärze des tiefen

Purpurs der ersten Ordnung, sondern erhält immer das Purpur der zweiten Ordnung wieder. Dieses stimmt ganz mit Biot's Angaben überein, welcher zum Beispiel bei einer 11,971 Millim. dicken Platte das Roth der dritten Ordnung bei 0° Drehung in der Mitte des ungewöhnlichen Bildes sah; dieses wurde bei der Drehung von einem weiſslichen Grün, Grün, bläulichen Grün nach und nach verdrängt, bei 90° erschien ein grünliches Blau, das zu Anfange ebenso im gewöhnlichen Bilde gewesen war; dieses ging bei 123° in tiefes Roth (also Roth der zweiten Ordnung) über, das aber bei 180° Drehung wieder zu demselben Roth der dritten Ordnung geworden war, womit wir anfingen [1]. Wenn man die Drehung des Kalkspaths in der entgegengesetzten Richtung statt finden läſst, so verengert sich der innerste Farbenring und verdrängt die Farbe in der Mitte; bei weiterer Drehung verdrängt sein nächster angrenzender Ring ihn wieder u. s. w.

118. Schon aus diesen Versuchen zog Biot den Schluſs, daſs die Drehung des Doppelspaths, deren es bedarf, um die Mitte des ungewöhnlichen Bildes zu der dunkelsten Färbung zu führen, der Dicke der Krystallplatte proportional sey, und daſs bei geringer Dicke nur die brechbareren Strahlen, erst bei gröſserer Dicke auch die übrigen, die Eigenthümlichkeit, sich von der ursprünglichen Polarisations-Ebene entfernt zu haben, zeigen. Um aber das Verhalten der einzelnen Farbenstrahlen genau kennen zu lernen, wiederholte Biot die Versuche in einfarbigem Lichte und fand es hier vollkommen bestätigt, daſs die Drehung, um die Mitte der Kreise zum möglichst vollkommenen Schwarz zurückzuführen, der Dicke der Platten proportional seyn muſs bei Anwendung eines gleichen Farbenstrahls, aber bei gleicher Dicke gröſser ausfällt für die mehr brechbaren Strahlen. Nach der Zusammenstellung der Versuche ergab sich, daſs bei 1 Millimeter Dicke die Drehung für den äuſsersten rothen Strahl 17°,49 betragen muſste, für einen Strahl an der Grenze des Gelb und Grün 25°,67, für den äuſsersten violetten Strahl 44°,08. Hiermit stimmte die Angabe = 23°,54 für die lichtvollsten Farben in der Mitte des Farbenbildes, wie Biot sie aus seinen Versuchen im

---

1 Diese vollständigere Beschreibung der Erscheinungen giebt auch Airy. Poggend. XXIII. 213.

Digitized by Google

weiſsen Lichte hergeleitet hatte, ganz wohl überein. Diese für die verschiedenen Farbenstrahlen gefundene Drehung stimmt mit dem Verhältnisse der Quadrate der Anwandelungen so gut überein, daſs man darnach ohne merklichen Fehler eine Drehung aus der andern berechnen konnte.

119. Diese Bestimmungen führen zu einer Uebersicht wenigstens eines Theils der Erscheinungen, indeſs bemerkt schon Biot, daſs damit noch bei weitem nicht alles gethan ist, sondern daſs das durch die Axe des Bergkrystalls gegangene Licht sich ganz anders verhält, als wir es sonst bei der Polarisation finden. In Beziehung auf die Farben in der Mitte des ungewöhnlichen Farbenbildes lieſs es sich indeſs so ansehn, als ob die rothen Strahlen, die in der ursprünglichen Polarisations-Ebene polarisirt die Krystallplatte erreicht hatten, ihre Polarisations-Ebene für jedes Millimeter Dicke um $17\frac{1}{2}°$, die gelbgrünen um $25\frac{2}{3}°$, die äuſsersten violetten um 44° geändert hätten. Bei sehr dünnen Platten waren es daher nur die letztern, die sich als merklich abweichend zeigten, bei gröſserer Dicke aber entstand eine Farbenmischung, die sich hiernach würde beurtheilen lassen. Biot hat die Berechnung der Farbe ganz streng angestellt, indem er diese allmälige und für verschiedene Strahlen ungleiche Drehung der Polarisations-Ebene dabei zum Grunde legt [1]. Wenn man nur für die drei oben angeführten Strahlen zu rechnen brauchte, so würde die Rechnung für eine 7 Millimeter dicke Platte so zu führen seyn: die äuſsersten rothen Strahlen haben ihre Polarisations-Ebene um 122°,5 geändert, und das ungewöhnliche Bild empfängt also bei der anfänglichen Stellung des zerlegenden Doppelspaths von ihnen eine durch $\text{Sin.}^2\ 122°{,}5 = 0{,}71$ ausgedrückte Menge, die gelbgrünen sind beinahe um 180° abgelenkt und liefern daher bei der Stellung 0° gar keinen Beitrag zu dem ungewöhnlichen Bilde; die violetten sind um 309° abgelenkt und liefern daher im Verhältnisse von $\text{Sin.}^2\ 51° = 0{,}62$ ihren Beitrag zum ungewöhnlichen Bilde. Dieses stimmt mit der Beobachtung, die Purpur gab, gut genug überein, da die gelben und grünen Strahlen hier alle nur wenig einwirken. Biot's Berechnung, die auf *alle* Farbenstrahlen geht, zeigt ganz streng und für alle Beobachtungen, wie Rechnung und Erfahrung zusammenstimmen.

---

1 Mém. de l'Acad. II. 67.

120. Diese Drehung, die wir hier als eine Drehung der Polarisations-Ebene anſehn, welche durch den Bergkryſtall hervorgebracht iſt, findet ſich in verſchiedenen Stücken Bergkryſtall nach verſchiedenen Seiten gehend, ſo daſs man, ohne daſs die Stücke ſonſt ſich weſentlich verſchieden zeigen, Bergkryſtalle findet, welche die eine und welche die andre Drehung des Doppelſpaths, von rechts nach links oder von links nach rechts, fordern. Biot hat ſchon dieſe Verſchiedenheit bemerkt, aber auch gefunden, daſs die aus demſelben Kryſtalle geſchnittenen Platten in der Drehung übereinſtimmten. Herschel hat die Bemerkung bekannt gemacht[1], daſs bei der Varietät des Quarzes, die Haüy Plagieder nennt, Kryſtalle mit unſymmetriſchen Facen vorkommen, und daſs mehrere Kryſtalle, die jene Drehung links forderten, auch in den pyramidaliſchen Spitzen der Kryſtalle ein Linkslehnen der Facen zeigten, ſo daſs es ſcheint, als ob doch auch hierbei die Geſtalt der Kryſtalle in Betrachtung komme oder eben die Kräfte, die die optiſche Wirkung beſtimmen, auch bei der Kryſtallbildung ſich ſchon thätig zeigen. Biot hat gleich dicke, rechts drehende und links drehende Kryſtallplatten verbunden und dann das hervorgehende polariſirte Licht frei von der Drehung der Polariſations-Ebenen gefunden, ſo daſs die beiden Einwirkungen einander compenſirten und der Strahl ſich wie vor dem Durchgange durch den Bergkryſtall verhielt[2].

121. Noch weit auffallender, als dieſe Einwirkung einer Kryſtallplatte, iſt aber Biot's Entdeckung, daſs auch flüſſige und ſelbſt dampfförmige Körper ganz ähnliche Aenderungen der Polariſation hervorbringen [3]. Biot hatte, um bei ſehr verſchiedenen Einfallswinkeln die Farben in den Platten des blätterigen Gypſes zu beobachten, dieſe in eine mit einer oder der andern Flüſſigkeit gefüllte Röhre gebracht, und als er hierbei das Terpentinöl anwandte, fand er, daſs dieſes für ſich allein ſchon eine ſchwache Depolariſation hervorbrachte, die der hier betrachteten ganz ähnlich ſchien. Um dieſe Erſcheinung genauer kennen zu lernen, wandte er eine Röhre von

1 Transact. of the Cambridge Soc. I. 43.

2 Mém. de l'Inſt. XIII. 265.

3 Mém. de l'Acad. II. 91. Ann. de Ch. et Ph. X. 63. Traité IV. 539.

16 Centimeter Länge mit Terpentinöl gefüllt an, und der durch diese Masse gehende polarisirte Strahl zeigte schöne Farben. Die Natur der Farben bei den verschiedenen Stellungen des Doppelspaths gegen die ursprüngliche Polarisations-Ebene war völlig so wie bei einer Bergkrystallplatte von 2,094 Millimeter, so daſs sich eine viel schwächere Wirkung, die erst bei dem Durchgange durch 160 Millimeter ebensoviel betrug, zeigte. Aenderung der Temperatur machte hier keinen Unterschied. Das Terpentinöl und ebenso das Lorbeeröl bringen eine Drehung von rechts nach links hervor, Citronenöl und Campherspiritus von links nach rechts . Der Drehungsbogen ist auch hier dem in der Flüssigkeit durchlaufenen Wege proportional und beträgt im Terpentinöl 2°,706 für jedes Centimeter, wenn man einen rothen Lichtstrahl anwendet. Auch die Ungleichheit der Drehung für verschiedene Farbenstrahlen ist hier der bei Bergkrystall beobachteten so genau gleich, daſs wenigstens die Versuche keinen Unterschied zeigten. Verbindet man einen entgegengesetzt drehenden Bergkrystall mit einer Röhre voll Terpentinöl, so muſs der Weg des Lichts in jenem $\frac{1}{70}$ so groſs als in diesem seyn, um eine Compensation zu bewirken. Verdünnt man Terpentinöl mit Schwefeläther, der für sich keine Wirkung hat, so muſs der Weg des Lichtstrahls in der Mischung, damit die Drehung gleichviel betrage, in dem Verhältnisse länger seyn, wie die verminderte Dichtigkeit der wirksamen Theile des Terpentinöls es fordert. Mischt man Terpentinöl mit einem die entgegengesetzte Wirkung hervorbringenden Körper, z. B. Campherspiritus, so heben die Wirkungen sich auf und compensiren einander, wenn die Quantitäten nach dem umgekehrten Verhältnisse der Wirksamkeit abgemessen sind. Die Wirkung scheint also hier den Körpertheilchen anzuhaften und selbst dampfförmig üben diese Materien noch dieselbe Wirkung aus; indeſs darf man daraus, daſs dieses bei den von Biot geprüften flüssigen Materien statt fand, doch nicht allzu allgemeine Schlüsse ziehn, indem, wie Herschel sich überzeugt hat[1], die Quarztheilchen in einer Kalilauge aufgelöst keine solche Wirkung zeigen, wie sie es in ihrer festen Gestalt thaten.

122. Diese sehr schätzenswerthen Untersuchungen Biot's

1 Poggend. XXI. 289.

gaben indeſs doch nur über diese wenigen Umstände Aufschluſs, und die physische Aenderung, die der Lichtstrahl hier erleidet, deren Eigenthümlichkeit Biot auch genauer zu erklären versuchte, wurde nicht vollständig aufgeklärt. Hierfür hat Fresnel, der auch auf diese Erscheinungen seinen unerschöpflichen Scharfsinn anwandte, mehr geleistet. Schon ehe er Versuche angestellt hatte, theilte er eine Vermuthung mit über die Beschaffenheit der Strahlen, die eine doppelte Brechung beim Durchgange durch Bergkrystall nach der Richtung seiner Axe erlitten haben[1], und diese Vermuthung hat sich nachher bestätigt gefunden. Er stellte nämlich die Behauptung auf, daſs auch diese Erscheinungen von einer eigenthümlichen doppelten Brechung abhängen müssen, und da man noch keinen Versuch hatte, welcher eine wirkliche Spaltung in zwei Strahlen für den parallel mit der Axe des Bergkrystalls durchgehenden Strahl nachwies, so zeigte Fresnel diese auf folgende Weise[2].

Fig. 119. Es wurde aus einem Bergkrystalle ein Prisma ABC geschnitten, dessen brechender Winkel 152° betrug und in welchem die Axe des Krystalls in der Brechungs-Ebene und gegen beide brechende Flächen gleich geneigt lag. An dieses wurden zwei andere Prismen von Bergkrystall auf den beiden brechenden Flächen befestigt, so daſs ADEC ein rechtwinkliges Parallelepipedum bildete. Die beiden letztern waren aus einem Bergkrystalle genommen, der in Rücksicht auf die Drehungs-Erscheinungen dem andern entgegengesetzt war; auch in ihnen lagen die Krystall-Axen mit DE parallel und wegen ihrer entgegengesetzten Beschaffenheit verstärkten sie die im Mittelprisma hervorgebrachte Spaltung des Strahls. Nach Fresnel's Vorstellung nämlich theilt sich der nach der Richtung der Axe durch den Bergkrystall gehende Strahl in zwei Strahlen, die zwar beide der Axe folgen, aber ungleiche Geschwindigkeiten haben, und der Gegensatz der Drehung rechts und links besteht darin, daſs im einen Krystalle der eine die gröſsere Geschwindigkeit hat, im andern Krystalle der andere. Obgleich nun die vereinigten Prismen ADB, ABC, CBE gar keine Brechung hervorbringen sollten, wenn der Strahl

1 Poggend. XIX. 544.

2 Ann. de Ch. et Ph. XXVIII. 151.

PQ mit AC parallel, senkrecht auf AD, CE einfallend, durchgeht, so muſs dennoch diese dem Bergkrystalle eigenthümliche Brechung kenntlich werden. Da der Lichtstrahl PQ, senkrecht auf AD und auf CE auffallend, durch einen gleichartigen Körper geht, so sollte er nach gewöhnlichen Brechungsgesetzen ganz ungebrochen durchgehn; auch die bei andern Krystallen eintretende Doppelbrechung sollte nicht statt finden, weil der Strahl sowohl im Mittelprisma, als auch in beiden Seitenprismen der Richtung der Axe folgt; aber die dem Bergkrystalle eigenthümliche Einwirkung auf die der Axe folgenden Strahlen findet hier dennoch statt und in Beziehung auf sie sind die beiden Prismen ABD, CBE nicht als mit dem Mittelprisma gleichartig anzusehn, sondern die schief gegen die Trennungsflächen AB, BC einfallenden Strahlen erleiden eine Brechung, weil sie eine veränderte Geschwindigkeit annehmen. Nenne ich den in ADB schneller fortgehenden Strahl R, den langsamern L, so wird, weil die entgegengesetzten Eigenschaften des Mittelprisma's dieses fordern, R an Geschwindigkeit verlieren, indem er durch AB eintritt, L dagegen gewinnen; der erstere wird also (indem wir hier die Geschwindigkeiten nach der Vorschrift der Undulationstheorie beurtheilen) gegen das Perpendikel zu hinaufwärts, der letztere vom Perpendikel abwärts gebrochen, und sie erleiden hier die erste Spaltung in Beziehung auf die Richtung. Bei dem Durchgange durch die zweite Oberfläche BC vergröſsert sich diese Spaltung, indem R nun wieder hinaufwärts, L wieder hinabwärts gebrochen wird, da R jetzt an Geschwindigkeit gewinnt. Daſs diese Brechungen so wenig betragen, daſs daraus keine allzu erhebliche Abweichung von der Richtung der Axe hervorgeht, brauche ich kaum zu erinnern, aber als deutlich getrennt hat dennoch Fresnel diese Strahlen erkannt und ihre Eigenschaften mit den Eigenschaften der Strahlen verglichen, denen durch andere Mittel die Circularpolarisation ertheilt war. Airy hat diesen Versuch wiederholt, bemerkt aber, daſs bei der geringsten unrichtigen Lage der Axen mehr als zwei Bilder hervorgehn, und daſs es ihm nicht gelungen sey, diese ganz wegzuschaffen, sondern nur die übrigen zu schwächen [1].

Diese eigenthümliche Doppelbrechung ist ungleich bei den

1 Poggend. XXIII. 206.

verschiedenen Farbenstrahlen und bei den violetten Strahlen am stärksten, und da die Trennung der Farbenstrahlen hier gewiſs durch keine andre Farbenzerstreuung hervorgehn kann, so giebt der Versuch hierüber eine vollkommen unzweideutige Belehrung.

123. Die so getrennten zwei Strahlen sind nun, wie Fresnel beweiset, kreisförmig polarisirte, und es muſs also hier durch eine uns nicht genauer bekannte Kraft die in nr. 115 nur als hypothetisch denkbar nachgewiesene Zerlegung des nach einer bestimmten Ebene polarisirten Strahls in zwei kreisförmig polarisirte statt gefunden haben; der Bergkrystall muſs die Kraft besitzen, dem einen dieser Strahlen eine gröſsere Geschwindigkeit als dem andern zu ertheilen, und diese Einwirkung muſs bei einigen Bergkrystallen dem rechts drehenden, bei andern dem links drehenden polarisirten Strahle die gröſsere Geschwindigkeit ertheilen. Bei dem Durchgange durch die Prismen (nr. 122) erfolgt wegen dieser ungleichen Geschwindigkeit die Spaltung in zwei Strahlen; bei dem Durchgange durch eine Platte, deren Oberflächen beide senkrecht auf die Axe und senkrecht auf die Richtung des Strahls sind, gehn zwar beide Strahlen nach gleicher Richtung, aber mit ungleicher Geschwindigkeit durch, und die Voreilung des einen vor dem andern giebt nun zu den Erscheinungen Anlaſs, die wir eben kennen gelernt haben. Diese beiden kreisförmig polarisirten Strahlen bringen zusammen immer einen geradlinig nach bestimmter Richtung polarisirten Strahl hervor, denn wir haben ja gesehn, daſs sie als aus einem solchen entstanden konnten angesehn werden; der Unterschied der Wege hat hier nur den Einfluſs, daſs die Ebene, nach welcher der so zusammengesetzte Strahl polarisirt erscheint, eine andere Richtung hat, als vorhin, wo, wie man es wohl bildlich nennen könnte, die Schraubengänge an einer andern Seite des Strahls zusammentreffen. Der durch den Bergkrystall gegangene einfache Farbenstrahl zeigt sich daher ganz so, als ob seine Polarisations-Ebene eine der Dicke der Platte proportionale Drehung erlitten hätte, ganz wie Biot angiebt. Diese Ablenkung geht von rechts nach links, wenn der von links nach rechts drehende Strahl der voreilende ist.

Wäre die ungleiche Brechung dieser zwei Strahlen oder die Ungleichheit der erlangten Geschwindigkeiten einerlei bei allen Farbenstrahlen, so würde die Drehung der Polarisations-Ebene

sich bloſs nach der Länge der Wellen der einzelnen Farben richten und der ganze Umkreis bei den kürzern Wellen schon in minder dicken Platten, nach dem Verhältnisse der Undulationslängen, durchlaufen seyn, aber die Refraction selbst ist auch hier stärker bei den violetten, geringer bei den rothen Strahlen, und dieses ungefähr im umgekehrten Verhältnisse der Undulationslängen; deshalb ist das Verhältniſs der Drehungsbogen bei gleichen Dicken der Platten nahe genug dem Quadrate der Undulationslängen umgekehrt proportional, wie Biot gefunden hat. Daſs hieraus die Phänomene der Farben in der Mitte der Ringe so entstehn, wie Biot angegeben hat, läſst sich nun wohl einsehn.

Wie sich die beiden durch jene zusammengesetzten Prismen in der Richtung getrennten Strahlen verhalten, will ich nachher erwähnen. (nr. 125.)

124. Aber Fresnel hat nicht bloſs gezeigt, daſs diese Erscheinungen der Vorstellung von einer Circularpolarisation entsprechen, sondern hat einen Versuch ganz anderer Art angegeben, wodurch man kreisförmig polarisirte Strahlen erhält, die ein völlig den eben erwähnten Strahlen gleiches Verhalten zeigen.

Die gewöhnliche Zurückwerfung des Lichts, sie geschehe nun beim Eindringen aus der Luft in den durchsichtigen Körper, oder sie geschehe an der Rückseite, bringt, wie Fresnel bemerkt, zwar eine Aenderung der Lage der Polarisations-Ebene eines polarisirten Strahls hervor, aber nicht eine wesentlich veränderte Beschaffenheit [1]; dagegen, wenn die Zurückwerfung an der Rückseite in eine Totalreflexion übergeht [2], so daſs gar kein Theil des Strahls in die Luft hervordringt, so zeigt der Strahl sich so verändert, wie es die Circularpolarisation fordert, und unstreitig gehören die von Fresnel hierüber angestellten und nachher völlig bestätigten Versuche, so wie die daran geknüpften theoretischen Betrachtungen zu den glänzendsten Beweisen des Scharfsinns ihres Urhebers. Der Hauptversuch ist folgender [3].

Es sey ABCD ein schiefes Glasparallelepipedum, dessen Fig. 120.

1 Vgl. oben nr. 33.
2 Vgl. Art. *Brechung*. S. 1132. und 1157.
3 Ann. de Ch. et Ph. XXVIII. 148.

Winkel bei A 54°,5 ist[1], so wird für ein Brechungsverhältniſs = 1,51 der senkrecht auf AB einfallende Strahl PQ die vollständige Zurückwerfung bei Q erleiden, und wenn das Glasparallelepipedum lang genug ist, so wird in R eine zweite totale Reflexion statt finden und der Strahl nach RS zu, senkrecht gegen die Oberfläche CD, wieder hervorgehn. War nun der einfallende Strahl PQ ein unter 45° gegen die Reflexions-Ebene polarisirter Strahl, so zeigt sich der bei S hervorgehende Strahl weder polarisirtem Lichte noch gewöhnlichem Lichte gleich; er zeigt die Eigenschaften des gewöhnlichen Lichts, wenn man ihn durch einen Doppelspath gehn läſst, indem bei jeder Stellung des Doppelspaths zwei gleiche Bilder erscheinen; er zeigt sich vom gewöhnlichen Lichte verschieden, wenn man ihn, ehe er den Doppelspath erreicht, durch ein Krystallblättchen gehn läſst, indem er dann zwei farbige Bilder giebt; er zeigt sich ferner vom gewöhnlichen Lichte verschieden, indem er durch zwei neue ganz den vorigen gleiche Totalreflexionen wieder zu einem gewöhnlich polarisirten Strahle wird, was bei den unpolarisirten Lichtstrahlen nicht statt findet. Die Farben, welche der so veränderte Strahl zeigt, wenn man ihn, nachdem er die zwei Totalreflexionen erlitten hat und bei S hervorgeht, durch ein Gypsblättchen und dann durch den Doppelspath zum Auge gelangen läſst, sind nicht dieselben, wie ein gewöhnlich polarisirter durch dasselbe Gypsblättchen gehender Strahl sie zeigen würde, sondern die Complementairfarben, welche die beiden im Doppelspath sich darstellenden Bilder hier zeigen, liegen gleich entfernt von den beiden Farben, welche der gewöhnlich polarisirte Strahl zeigen würde, oder um einen Quadranten entfernt von diesen, wenn man die Farben nach Newton's Anleitung so auf den Kreis aufträgt, daſs immer die Ergänzungsfarben einander gegenüberstehn. Schon dieser Umstand, noch mehr aber der, daſs zwei neue, den vorigen gleiche, Totalreflexionen den Strahl wieder zum gewöhnlichen polarisirten Strahle machen, bewogen Fresnel zu dem Schlusse, daſs jener Strahl anzusehn sey als aus zwei senkrecht gegen einander polarisirten und um ein Viertel Wellenlänge verschiedenen Strahlen zusammengesetzt, daſs er also (nach nr. 114.) ein kreisförmig polarisirter sey.

1 Den Grund, warum gerade dieser Winkel gewählt ist, s. nr. 128.

125. Die Uebereinstimmung dieses Strahls mit dem durch den Bergkrystall gegangenen Strahle zeigt sich durch mehrere Erscheinungen. Wenn man die durch die eigenthümliche Doppelbrechung des Bergkrystalls (nr. 122.) erhaltenen zwei Strahlen durch das Glasparallelepipedum gehn und dort zwei Totalreflexionen erleiden läſst, so haben beide die Natur geradlinig polarisirter Strahlen wieder erlangt und zwar liegen die beiden Polarisations-Ebenen um + 45° und — 45° an beiden Seiten der Reflexions-Ebene gegen diese geneigt [1]. Dasselbe zeigt der durch Totalreflexionen circularpolarisirte Strahl, dessen neue Polarisations-Ebene nach abermaligen zwei Totalreflexionen 45° von der Reflexions-Ebene abweicht, und offenbar ist hier die Herstellung der gewöhnlichen Polarisation genau derselbe Erfolg, den wir in umgekehrter Ordnung hervorbringen, wenn wir den geradlinig polarisirten Strahl in den Zustand der Circularpolarisation durch zwei Totalreflexionen versetzen.

Ferner, wenn man einen durch Totalreflexion kreisförmig polarisirten Strahl durch die Bergkrystallplatte nach der Richtung der Axe gehn läſst, so zeigt er keine Farben, offenbar weil dieser schon im voraus so modificirte Strahl nun ebenso wenig der Zerlegung in zwei Strahlen fähig ist, wie unter den bekannten Umständen der geradlinig polarisirte Strahl beim Durchgange durch den Doppelspath [2]. Daſs der so modificirte Strahl in dem zusammengesetzten Bergkrystallprisma nun auch nicht in zwei der Richtung nach verschiedene Strahlen gespalten wird, erhellet von selbst.

126. Auch folgender Versuch läſst sich nun ohne Schwierigkeit erklären. Wenn man zwei solche Glasparallelepipeda in Richtungen gegen einander senkrecht aufstellt und den vorher gewöhnlich polarisirten Strahl im ersten zwei Totalreflexionen unter 54°,5 erleiden läſst, wenn man ihn dann durch ein Gypsblättchen gehn läſst, dessen Hauptschnitt 45° gegen *beide Ebenen* zweimaliger Reflexion geneigt ist, und er hierauf auch in dem zweiten Parallelepipedum die gleichen zwei Totalreflexionen erleidet, so zeigt dieser hervorgehende Strahl sich ganz so, wie der durch den Bergkrystall gegangene vorher Fig. 120.

1 Baumgartner's Zeitschrift. II. 10.
2 Ann. de Ch. et Ph. XXVIII. 160.

polariſirte Strahl. Läſst man ihn nämlich durch einen Doppelſpath zum Auge gelangen, ſo erſcheint er farbig, und die Farben ändern ſich, wenn man den Doppelſpath dreht, ſo daſs ſie von der Neigung des Hauptſchnitts gegen die urſprüngliche Polariſations-Ebene abhängen [1]. Dieſe Uebereinſtimmung hat offenbar in der Zerlegung in zwei Strahlen, die im Gypsblättchen ſtatt findet, ihren Grund, und die Uebereinſtimmung mit dem Bergkryſtalle würde noch vollkommner ſeyn, wenn das Gypsblättchen dieſelbe ungleiche Brechung auf die verſchiedenfarbigen Strahlen ausübte, wie es der Bergkryſtall thut.

127. Ueber die Art der Einwirkung, die der Bergkryſtall auf die nach der Richtung ſeiner Axe durchgehenden Strahlen ausübt, worin ſeine Kraft, jene zwei Strahlen zu trennen, beſteht, giebt dieſes alles freilich wenig Licht, und FRESNEL bemerkt auch nur, daſs der Kryſtall doch in der Richtung von rechts nach links eine etwas andere Beſchaffenheit als in der Richtung von links nach rechts haben müſſe [2]; für die durch Totalreflexion hervorgebrachte Circularpolariſation dagegen giebt FRESNEL eine Ueberlegung an, die auf den Grund ihrer Entſtehung hindeutet und die ich hier mitzutheilen nöthig finde.

Die bisher angeführten Erfolge der Totalreflexion finden am beſten ſtatt, wenn die Zurückwerfungs-Ebene 45° gegen die urſprüngliche Polariſations-Ebene geneigt und die Totalreflexion nicht einer ihrer beiden Grenzen nahe iſt, aber in allen Fällen, wo die gänzliche Zurückwerfung ſtatt findet, verhält der Strahl ſich ſo, als ob er aus zwei gegen einander ſenkrecht polariſirten und um einen Bruch einer Undulation einer dem andern voreilenden Strahlen beſtände. Wenn der Strahl unter demjenigen Einfallswinkel im Innern des dichtern Körpers auf die brechende Ebene auffällt, daſs der berechnete Sinus des Brechungswinkels den Werth = 1 nur unbedeutend übertrifft, oder wenn die Totalreflexion ihrer erſten Grenze noch ganz nahe iſt, ſo bemerkt man noch keine Differenz der Undulationen, aber wenn der Einfallswinkel gröſser wird, ſo nimmt dieſe Differenz zu, und erreicht ein Maximum; bei noch gröſsern Einfallswinkeln nimmt ſie wieder ab, und an

1 Ein zu dieſen Verſuchen bequemes Inſtrument beſchreibt Baumgartner. Zeitſchr. II. S.

2 Poggend. XXIII. 398.

der zweiten Grenze der Totalreflexion, wo nämlich der Einfallswinkel nahe an 90° ist, verschwindet diese Differenz abermals.

128. Offenbar muſs dieses mit den Gesetzen zusammenhängen, welche die Bestimmung der Veränderung der Polarisations-Ebene bei der gewöhnlichen Zurückwerfung und die Intensität des zurückgeworfenen Strahls angeben (nr. 37.), aber die für die gewöhnliche Zurückwerfung geltenden Formeln werden unmöglich, wenn in den dort gebrauchten Ausdrücken $\text{Sin.}\, i' = \mu . \text{Sin.}\, i$ gröſser als eins wird, das heiſst, wenn die theilweise Reflexion in Totalreflexion übergeht. Es ist bekannt, daſs diese unmögliche Form hier nicht eine solche Bedeutung haben kann, daſs die Zurückwerfung physisch unmöglich sey, wir müssen daher, nach Fresnel's gewiſs richtiger Meinung, annehmen, die unmögliche Form deute nur darauf hin, daſs eine der Rechnung zum Grunde gelegte Voraussetzung nun aufhöre statt zu finden. Mit sehr gutem Grunde vermuthet Fresnel, daſs diese hier nicht passende Voraussetzung die sey, daſs die Coincidenz der Undulationen des reflectirten und einfallenden Strahls genau in der brechenden Oberfläche statt finde, und obgleich Fresnel von physischen Gründen für eine hier eintretende Abweichung von dieser Coincidenz nichts weiter sagt, so lieſsen sich doch gar wohl solche Gründe denken, indem der bei andern Einfallswinkeln vorwärtsgehende, in das neue Medium eindringende Theil der Welle einen Theil einer Undulation verlieren könnte, jetzt da er mit dem reflectirten Strahle sich vereinigt. Die Ueberlegung, daſs nur darin das Unmöglichwerden begründet sey, veranlaſst Fresnel, die Formeln für u in nr. 37, die hier aus einem rationalen und aus einem mit $\sqrt{-1}$ multiplicirten Theile bestehn, so zu verstehn, daſs, wenn ich kurz $u = A + B\sqrt{-1}$ schreibe, A der Werth von u für eine Welle, B der Werth von u für eine um ein Viertel einer Undulationslänge folgende Welle sey. Ein entschiedener Grund für diese Annahme tritt nicht hervor, und Fresnel sagt auch nur, wir können mit der wohlbegründeten Hoffnung, uns nicht zu irren, es so ansehn, als ob das reflectirte Wellensystem in zwei andere, um eine Viertel-Undulation verschiedene, zerlegt sey, deren eins, für welches $u = A$ die Coincidenz seiner Wellen mit denen des einfallenden Strahls be-

Digitized by Google

sitze, $u = B$ der Werth für das andre sey. Diese Werthe nun, die ich kurz A und B genannt habe, werden verschieden für den ersten in nr. 37. betrachteten Hauptfall, wo der einfallende Strahl in der Reflexions-Ebene polarisirt war, und für den zweiten Hauptfall, wo die Polarisations-Ebene eine senkrechte Lage gegen jene hatte. Für den aus beiden hervorgehenden Strahl leitet nun Fresnel durch eine leichte Rechnung, deren physisches Princip mir nicht ganz klar ist, die Differenz der Undulationen her, die aus den in jenen beiden Fällen entstehenden reflectirten Strahlen hervorgehn. Darf ich seiner Analyse eine Auslegung geben, wie sie mir am einleuchtendsten scheint, so würde ich seine Formel auf folgende mit Fresnel's Worten nicht ganz übereinstimmende Art herleiten. In dem für den ersten Fall berechneten Werthe ist das, was ich kurz mit A bezeichnete, $= \frac{1 + \mu^2 - 2\mu^2 . \text{Sin.}^2 i}{\mu^2 - 1}$

und $B = -\sqrt{(1 - A^2)}$; im zweiten Falle ist das rationale Glied $A' = \frac{(\mu^4 + 1) \text{Sin.}^2 i - \mu^2 - 1}{(m^2 - 1) [(m^2 + 1) \text{Sin.}^2 i - 1]}$

und wieder $B' = \sqrt{(1 - A'^2)}$[1]. Denkt man sich also, die Ebene, an welcher die Welle A entsteht, liege um etwas weniges von der Ebene entfernt, an welcher A' entsteht, so geht in jedem Augenblicke von jener ersten Ebene eine Undulation zurück, die sich in irgend einer Phase $= \alpha$ befindet und deren absolute Vibrationsgeschwindigkeit $= A$ ist, und eine zweite Welle geht in demselben Augenblicke von derselben Ebene zurück mit der Vibrationsgeschwindigkeit $= A'$, aber in einer Phase, die von der vorigen verschieden $= \alpha + x$ ist, weil diese Undulation von einer andern Ebene zurückkehrt, also einen andern Weg durchlaufen hat. Nach der theoretischen Bestimmung der Vibrationsgeschwindigkeit in jeder Undulation ist nun $\text{Cos.}\, \alpha = A$ in jener, $\text{Cos.}\, (\alpha + x) = A'$ in dieser Welle, wenn wir annehmen, daſs diese Werthe nur sofern ungleich sind, als die Undulationsphasen ungleich sind; dann also ist $\text{Cos.}\, x = A . A' - \sqrt{(1 - A^2)} . \sqrt{(1 - A'^2)}$, und x ist der Unterschied der Wege, um welchen diese Wellen hinter einander folgen. Man findet aber aus den vorigen Werthen von A und A'

1 Diese Formeln folgen leicht aus den in nr. 37. gefundenen, wenn sie auf unsern Fall angewandt werden.

$$\text{Cos. } x = \frac{2\mu^2 \text{ Sin.}^4 i - (\mu^2+1) \text{ Sin.}^2 i + 1}{(\mu^2+1) \text{ Sin.}^2 i - 1},$$

welches die von Fresnel angegebene Formel ist, und Fresnel giebt zugleich auch den Grund an, warum man die $\pm$ Zeichen so wählen muſs, wie hier geschehn ist. Um den so bestimmten Undulationsraum, wo x als Theil der ganzen Undulationslänge angegeben wird, folgen die beiden in der Totalreflexion vereinigten Strahlen einander.

129. Obgleich nun allerdings diese Rechnung sich auf sehr hypothetische Sätze gründet und nicht die Klarheit besitzt, die man wohl wünschen möchte, so hat doch Fresnel's unbegreiflicher Scharfſinn, wie es scheint, auch hier die Wahrheit gleichsam errathen; denn die Erfahrung trifft mit der Formel überein[1]. An der ersten Grenze der Totalreflexion, wo $\mu \text{Sin.} i = 1$ ist, wird $\text{Cos.} x = 1$, und an der zweiten Grenze, wo $i = 90°$ ist, gleichfalls $\text{Cos.} x = 1$; in beiden Fällen findet also keine Differenz der Undulationen statt, und das Licht muſs gewöhnlich polarisirt seyn, wie es die Erfahrung zeigt. In beiden Fällen kommt in den obigen Ausdrücken kein unmögliches Glied vor.

Bei Fresnel's Versuchen, wo er ein Glas gebrauchte, dessen Brechungsverhältniſs $= 1{,}51$ war, betrug der aus den Versuchen geschlossene Unterschied der Wege ein Achtel Undulation für $i = 50°$, und dieses stimmt nahe mit der Formel überein. Will man für diese Glas-Art genau $x = 45°$ haben, so muſs man $i = 48° 37',5$ oder auch $i = 54° 37',5$ nehmen, und deshalb wurde für die Form des Parallelepipedums der Winkel $= 54°,5$ genommen, damit zwei Totalreflexionen das Voreilen genau einer Viertel-Undulation gleich gäben. Für das Maximum von x oder das Minimum von Cos. x erhält man $\text{Sin.}^2 i = \frac{2}{\mu^2 + 1}$, womit $\text{Cos.} x = \frac{8\mu^2}{(\mu^2 + 1)^2} - 1$ zusammengehört. Für $\mu = 1{,}51$ ist dieser Werth von

$$i = 51° \; 21', \; x = 46\tfrac{1}{3}°.$$

Man kann also durch diese Totalreflexionen einen Unterschied der Undulationswege, wie man ihn haben will, hervorbringen, und Fresnel führt, auſser den oben erwähnten Versuchen, noch mehrere an, wo die gesammte Voreilung des Strahls auf

1 Ein Einwurf andrer Art ergiebt sich freilich. S. nr. 141.

ein Viertel einer Undulation gebracht war, und andre, wo sie davon abwich[1] und die Uebereinstimmung mit der Formel sich bestätigte. Die Totalreflexion dient also, um Circularpolarisation oder elliptische Polarisation, wie man will, hervorzubringen.

Es schlieſst sich hieran Airy's Vorschlag, neue Arten der Lichtzerlegung anzuwenden[2]. Für die geradlinige Polarisation dient der Turmalin, der Doppelspath, die unter dem richtigen Winkel angewandte Glasplatte, als Zerleger des Lichts, indem sie diejenigen Lichtstrahlen aussondern, die auf bestimmte Weise geradlinig polarisirt sind; aber ebenso ist es möglich einen Lichtzerleger anzugeben, der unter zwei entgegengesetzten kreisförmig polarisirten Strahlen nur den rechts drehenden durchlieſse oder der zwei elliptisch polarisirte Strahlen auf ähnliche Weise trennte. Das Glasparallelepiped giebt uns Mittel, solche Zerlegungen zu bewirken. Wenn auf dieses ein kreisförmig polarisirter Strahl auffällt und die zwei oben beschriebenen Totalreflexionen auf die dort angegebne Weise leidet, so geht er geradlinig polarisirt und in einer $= + 45°$ oder $- 45°$ gegen die Reflexions-Ebene geneigten Ebene polarisirt hervor; ein diesen Strahl gehörig auffangender Glasspiegel kann uns offenbar die Frage, ob die Neigung $+ 45°$ oder $- 45°$ war, sogleich beantworten und uns eben dadurch auch die Drehungsrichtung des kreisförmig polarisirten Strahls angeben, oder, wenn beide Arten circularpolarisirter Strahlen vereinigt waren, den einen Strahl unterdrücken, während der andre noch immer mit der ihm eigenthümlichen Intensität hervorginge. Statt des nicht immer bequem anzubringenden Glasparallelepipeds hat Airy Gypsplatten von genau solcher Dicke angewandt, daſs der nach einem der Hauptschnitte des Krystalls polarisirte Strahl entweder um 1 oder 3 oder 5 Viertel einer Undulation gegen den andern, in der darauf senkrechten Ebene polarisirten, verzögert ist. Wenn dann das Glimmerblättchen so mit dem Spiegel verbunden ist, daſs sein Hauptschnitt den Winkel von 45° mit der Reflexions-Ebene des letztern macht, so hat man ziemlich denselben Lichtzerleger, wie vorhin. Fiel nämlich ein geradlinig polarisirter Strahl auf, so geht ein kreisförmig polarisirter

1 Poggend. XXII. 121. Ann. de Ch. et Ph. XLVI.
2 Ebend. XXVI. 140.

Digitized by Google

Strahl (aus der Verbindung zweier, die senkrecht gegen einander polariſirt und um ein Viertel einer Undulation verschieden sind) aus dem Krystalle hervor, und umgekehrt wird ein kreisförmig polariſirt auffallender Strahl in einen geradlinig polariſirten verwandelt. Bei weiſsem Lichte tritt dann nur die Verschiedenheit ein, die schon oben in Beziehung auf die ungleiche Brechbarkeit der verschiedenen Farbenstrahlen erwähnt worden ist.

Es ist zu bedauern, daſs Airy die Versuche, die er mit dieser Lichtzerlegung angestellt hat, nicht vollständig beschreibt. Er sagt bloſs, wenn man polariſirtes Licht einfallen läſst, so zeigt der Kalkspath Farbenringe ohne Kreuz, der Salpeter und Arragonit zeigen ihre Farbenlemniscaten ohne irgend eine der hyperbolischen dunkeln Linien, wodurch diese sonst unterbrochen werden. Warum dieses geschieht, erhellt allerdings aus folgender Betrachtung. Wenn die zwei gegen einander senkrecht polariſirten Strahlen, die um ein Viertel Undulation verschieden sind (also einem kreisförmig polariſirten Strahle gleichgelten), auf den Doppelspath fallen, so werden sie hier in zwei, dem Hauptschnitte desselben gemäſs wieder auf einander senkrecht polariſirte, Strahlen getrennt. Ist nun der vorhin um ein Viertel einer Undulation zurückgebliebene Strahl um eine ganze Undulation gegen den andern aufs neue verzögert, so hat der hervorgehende Doppelstrahl genau dieselbe Beschaffenheit, wie vor dem Eintritte, da hingegen, wo der schon um ein Viertel verzögerte Strahl nur um ungerade halbe Undulationen verzögert wird, da ist eine Verzögerung von $\frac{3}{4}$, $\frac{7}{4}$ u. s. w. eingetreten, oder weil die Anzahl der ganzen Undulationen nicht in Betrachtung kommt, so ist der vorhin um ein Viertel verzögerte Strahl jetzt um ein Viertel voreilend, und die Vereinigung beider hat also die Eigenschaften eines entgegengesetzt drehenden kreisförmig polariſirten Strahls. Denken wir uns nun kreisförmig polariſirtes Licht auf eine gegen die Axe senkrecht geschnittene Doppelspathplatte fallend, so werden aus diesem Grunde in einem gewissen Abstande von der Mitte rechts gewundene, in anderm Abstande von der Mitte links gewundene Strahlen und so abwechselnd nach dem Durchgange durch die Platten hervorgehn; jede Art von Strahlen, die ich hier alle als gleichfarbig annehme, wird völlig gleich in einem um die Mitte, um den mit der Axe genau

Digitized by Google

übereinstimmenden Strahl, gezogenen Kreise hervorgehn. Und wenn nun diese Strahlen durch einen Lichtzerleger aufgefangen werden, der nur die rechts drehenden Strahlen zum Auge gelangen läſst, die links drehenden aber völlig unterdrückt, so werden sich abwechselnd vollkommen helle farbige Kreise an den Stellen des Krystalls, wo die vollen Undulationen verloren gingen, vollkommen dunkle Kreise an den Stellen, wo genaue halbe Undulationen verloren gingen, zeigen. Ein dunkles Kreuz kann sich hier aber nicht zeigen, weil die kreisförmig polarisirten Strahlen nicht an einer Seite oder in einer Richtung andre Eigenschaften besitzen, sondern diese Kreise sind ohne Unterbrechung, und ebenso die Lemniscaten in andern Fällen.

Airy hat sich, wie man wohl sieht, von der Richtigkeit dieser vorausvermutheten Erfolge überzeugt.

130. Ich kehre nun noch einmal zu den durch den Bergkrystall dargebotenen Erscheinungen zurück, indem auch hier Airy zu den bisher angeführten Untersuchungen noch sehr wichtige Zusätze hinzugefügt hat. Er macht in Beziehung auf Biot die Bemerkung, die zum Theil auch auf Fresnel Anwendung leidet, daſs er die Erscheinungen nicht in ihrem ganzen Umfange aufgefaſst habe und, indem er nur einzelne Phänomene zu erklären suchte, nicht auf die Ansicht kommen konnte, welche zugleich alle Erscheinungen umfaſst. Wirklich scheint es auch, als ob, selbst bis zu Airy hin, niemand die ganze Erscheinung vollständig beschrieben habe, obgleich manche Umstände keinem der frühern Beobachter unbemerkt bleiben konnten; sie hielten sie vielleicht für minder wichtig. Fresnel hat indeſs den wichtigsten Punct, wodurch sich die im Bergkrystalle vorkommenden Erscheinungen von denen in andern einaxigen Krystallen unterscheiden, richtig aufgefaſst und erklärt, aber die Verbindung dieses Ungewöhnlichen mit dem Gewöhnlichen nicht weiter untersucht.

Die Beschreibung der Erscheinungen ist nämlich zuerst schon unvollkommen, indem sie für die Stellung des Turmalins oder des Doppelspaths, wo seine Axe mit der ursprünglichen Polarisations-Ebene zusammenfällt, das schwarze Kreuz als gänzlich fehlend angiebt. Richtig ist es, daſs der mittlere Kreis ganz mit irgend einer Farbe gefüllt ist und daſs auch die nächsten Farbenkreise noch in keiner Gegend dunkler er-

Digitized by Google

scheinen, aber entfernter von der Mitte zeigt sich ein deutlich dunkleres Kreuz, das zwar die Farbenkreise nicht so wie bei andern Krystallen ganz unterbricht, aber doch die Farben gleichsam beschattet, ihnen einen Theil ihres Glanzes raubt [1]. Die ganze Erscheinung ist also in gröſserer Entfernung vom Mittelpuncte mehr als in der Nähe des Mittelpuncts mit den gewöhnlichen Erscheinungen bei dem Doppelspath und andern Krystallen übereinstimmend. Bei dickern Platten finde ich diese Beschattung minder merklich.

Zweitens: Auch das weiſse Kreuz, welches bei der um 90° geänderten Stellung des Turmalins die Farbenringe zu durchschneiden pflegt, fehlt in den entferntern Farbenringen des Bergkrystalls nicht ganz, und wenn die Bergkrystallplatte dünn ist, so zeigen sich auch die in der 95sten Figur nahe am Mittelpuncte gezeichneten vier dunkeln Flecke, die aber hier nicht schwarz, sondern gefärbt sind, so wie auch in der Mitte, wie schon oft erwähnt ist, kein Weiſs, sondern die Ergänzungsfarbe zu der bei der ersten Stellung beobachteten Farbe sich zeigt.

Drittens: Wenn die Drehung des Turmalins 45° beträgt, so haben die Farbenringe ihre Kreisform verloren und haben das Ansehn eines Vierecks mit abgerundeten Ecken, und bei dünnen Bergkrystallplatten zeigt sich zugleich ein kurzarmiges blaues Kreuz, so wie Fig. 121 es darstellt [2]. Die Farbenringe Fig. 121.
sind nicht mehr durchaus gleich lichtvoll, sondern, wenn man etwas mehr gegen die Stellung auf 90° zugeht, so werden die zwischen den Armen des blauen Kreuzes liegenden Theile blasser, wogegen die diesen Armen gegenüber liegenden Theile der Ringe mit desto lebhaftern Farben hervortreten. Diese Er-

1 Dieses schattige Kreuz ist in Poggend. Annalen Taf. II. Fig. 6 — 9. gut dargestellt, wo übrigens die Färbungen sehr schlecht gerathen sind.

2 Die 121ste Figur ist von meinem Sohne Hermann Brandes nach der Ansicht, wie sie eine dünne Bergkrystallplatte darbietet, gezeichnet. Sie stimmt nicht ganz mit der Figur von Airy in Poggendorf's Annalen überein, aber jede solche Zeichnung kann nur als einen einzigen Fall darstellend angesehn werden; eine geringe Drehung des Krystalls verändert die Gestalt und die Lichtstärke der Ringe, und nicht bei jeder Platte tritt das blaue Kreuz auf gleiche Weise hervor, was auch Airy andeutet.

Digitized by Google

scheinungen müssen bei jeder verschiedenen Dicke der Platte etwas anders werden, weshalb mir Airy's Beschreibung, die nur auf einen bestimmten Fall Rücksicht nimmt, eine Unvollkommenheit zu haben scheint, die in seinen spätern Betrachtungen durch die Anwendung der Formeln gehoben wird.

131. Nach dem Eindrucke, den die ganze Folge dieser Erscheinungen hervorbringt, glaube ich sie so darstellen zu können. Wenn man sich bei den Farbenringen des Doppelspaths, so wie sie bei einer Drehung des Turmalins auf 45° erscheinen, statt der plötzlich abgebrochenen Ringe der einen
Fig. 96. und der andern Art einen Uebergang nach dem Gesetze der Stetigkeit dächte, so hätte man das Viereck der von Airy mitgetheilten Figur oder die Form, wie Fig. 121, und da offenbar die den abgerundeten Ecken entsprechenden Farben sich ebenso aus dem dunkeln Kreuze heraus hervorbilden, so möchte ich diese Verbindung der Erscheinungen in den beiden genannten Figuren als die am leichtesten zu übersehende angeben.

Und sie stimmt nun auch völlig mit Airy's Theorie überein, welche auf eine sehr angemessene Weise die sämmtlichen Erscheinungen verbindet. Airy nimmt nämlich an, daſs die durch den Bergkrystall gehenden Strahlen in allen Fällen elliptisch polarisirt sind, daſs diese Ellipsen, welche die Aethertheilchen in ihren Vibrationen durchlaufen, in Kreise übergehn, wenn die Strahlen der Axe folgen, und immer länglicher werden, wenn die Strahlen einen gröſsern Winkel mit der Axe machen, daher sie denn, wenn die Neigung der Strahlen gegen die Axe gröſser wird, sich von geradlinigen Vibrationen nicht mehr unterscheiden. Die zwei Strahlen, die der Bergkrystall in allen Richtungen als doppelt brechender Körper darbietet, sind also beide elliptisch polarisirte Strahlen und zwar hat die Ellipse bei dem gewöhnlich gebrochenen Strahle ihre groſse Axe senkrecht gegen die durch den Strahl und die Axe gelegte Ebene, so daſs bei den sehr schmal werdenden Ellipsen die elliptischen Vibrationen in geradlinige Vibrationen senkrecht auf diese Ebene übergehn, wie es den Vorstellungen über den gewöhnlich gebrochenen Strahl gemäſs ist; bei dem ungewöhnlich gebrochenen Strahle liegt die groſse Axe der Ellipse in der Ebene des Hauptschnitts. Für beide Strahlen ist das Axenverhältniſs der Ellipsen gleich bei gleicher Neigung gegen die Krystall-Axe, und schon bei 10°

Digitized by Google

Neigung unterscheiden sich die Strahlen von den geradlinig polarisirten. Die beiden elliptisch polarisirten oder auch kreisförmig polarisirten Strahlen haben entgegengesetzte Drehungsvibrationen.

Endlich nimmt Airy noch an, daſs man zwar den Gang des ungewöhnlich gebrochenen Strahls nach der von Huyghens angegebnen Construction[1] bestimmen könne, jedoch mit dem Unterschiede, daſs das abgeplattete Sphäroid nicht als die Kugel berührend, sondern als ganz von ihr umschlossen angenommen werden müsse.

132. Da die eben vorhin angegebene kurze Uebersicht der Erscheinungen und ihrer Uebereinstimmung mit dem, was die übrigen einaxigen Krystalle zeigen, wie ich hoffe, hinreichend andeutet, wie man die Gesammtheit der Erscheinungen erklären muſs, so darf ich wohl die gründlichen, aber ohne eine lange Reihe von Formeln nicht verständlichen Untersuchungen Airy's hier übergehn. Es ist offenbar, daſs die elliptischen Vibrationen ganz geeignet sind, einen solchen stetigen Uebergang von der einen Farbenfolge zur andern und dadurch die vorhin erwähnte viereckige Form hervorzubringen, und Airy zeigt dieses mit vollkommener Strenge. Der Grund, warum er die Hugenische Construction hier abändert, ist, daſs sie in der Mitte keine Färbung angeben würde. Uebrigens sind Airy's Formeln nicht schwer zu übersehn, indem er die Gröſse der Vibrationen ganz nach Fresnel's Regeln zerlegt und daraus die Intensität des Lichts bestimmt. Auf diese Weise ergeben sich in analytischen Ausdrücken die in nr. 75 und 76. gefundenen Bestimmungen, aber für den Bergkrystall wird die Betrachtung schwieriger, weil hier beide Strahlen als elliptisch polarisirt angesehn werden müssen und wir von diesen annehmen, daſs sie aus zwei auf einander senkrechten, um ein Viertel einer Undulation als Voreilung verschiedenen Vibrationen entstehn, die in demselben Maſse ungleich sind, wie die Axen der Ellipse. Auch hier ergeben sich Formeln für die Intensität des Lichts in allen Puncten der Ringe und für alle Stellungen der Turmalinplatte[2]. Sie ergeben, daſs bei der Stellung

1 Vergl. Art. *Brechung*. S. 1170.

2 Ich behalte diesen Ausdruck bei, obgleich Airy sich des zweiten Spiegels bediente.

des Turmalins, wo seine Axe mit der ursprünglichen Polarisations-Ebene zusammenfällt, und so auch für die um 90° davon entfernte Stellung, die Farbenringe Kreise sind; diese Farbenringe sind nirgends unterbrochen, aber die Formeln geben eine schwächere Intensität an den Stellen, wo in andern Fällen das schwarze Kreuz entsteht, und ganz richtig ergeben die Formeln, daſs gegen die Mitte zu, wo die elliptischen Vibrationen beinahe Kreise werden, diese Verdunkelung nicht kenntlich seyn kann. Wenn man den Turmalin in eine schiefe Stellung bringt, so ergiebt sich aus den Formeln ein nicht mehr gleicher Werth des Abstands von der Mitte für gleiche Farben, sondern ein so verzogener Kreis, wie Fig. 121. oder die für etwas verschiedene Umstände gezeichnete Figur von Airy es angiebt, und auch die Form des kurzarmigen Kreuzes entspricht den Formeln.

133. Airy wendet dieselben Formeln nun auch auf die Fälle an, wo die durch Totalreflexion veränderten Strahlen gebraucht werden. Läſst man nämlich den ursprünglich polarisirten Strahl durch Fresnel's Parallelepipedum gehn und in einer um 45° gegen die erste Polarisations-Ebene geneigten Ebene die vollkommene Reflexion erleiden, läſst man ihn dann durch eine Krystallplatte gehn und durch den Turmalin zum Auge gelangen, so sind die Farbenringe verschoben, in zwei einander gegenüber stehenden Quadranten ist dieselbe Farbe um ein Viertel eines Zwischenraums der gleichfarbigen Ringe hinaus-, in den andern beiden um ebensoviel hereingerückt (in Vergleichung gegen das, was ohne Zwischenkunft des Parallelepipedums statt fand). Und auch dieses entspricht den richtig zerlegten Vibrationen, mit denen auch eine durch Aenderung der Lage des Parallelepipedums hervorgehende Verzerrung der Ringe übereinstimmt.

Die Erfolge, welche aus dem Durchgange der Strahlen durch zwei entgegengesetzt drehende Bergkrystallplatten hervorgehn, will ich nicht anführen, da sie nach der gleichen oder ungleichen Dicke verschieden sind.

X. Polarisation bei der Zurückwerfung von Metallen.

134. Obgleich, wie nr. 15. angeführt ist, auch bei der

Digitized by Google

Zurückwerfung des Lichts von Metallen eine Polarisirung eintritt, wodurch das so reflectirte Licht weniger von dem zweiten Spiegel in der Querstellung zurückgeworfen wird und Farbenringe sich, auch wenn der erste Spiegel ein polirtes Metall ist, zeigen, so hat man doch die eigentlichen Gesetze, welche dort statt finden, nicht so leicht entdecken können. Unter den frühern Beobachtungen finde ich nur weniges, das angeführt zu werden verdiente. Brewster machte die Bemerkung, daſs das vom blauen Stahle zurückgeworfene Licht im Doppelspathe zwei ungleichfarbige Bilder zeige[1]. Man sieht dieses sehr gut, wenn man den Lichtstrahl sehr stark gegen die Senkrechte geneigt auf den blauen Stahl fallen läſst und er dann nach der Zurückwerfung durch eine Turmalinplatte geht; wenn da, bei der Drehung der Turmalinplatte, der Spiegelglanz des Stahls sich vermindert, so geht zugleich das Blau in Kupferroth über. Marx hat bei Gold, Kupfer und Messing das ungewöhnliche Bild stets in der eigenthümlichen Farbe des Metalls, das gewöhnliche dagegen weiſs beobachtet[2]. Daſs ähnliche Ungleichheiten sich auch bei den Nobili'schen Farbenringen, die durch elektrische Einwirkung auf Metallen entstehn, zeigen, hat Nobili bemerkt und eine Reihe von Beobachtungen daran geknüpft, die aber noch nicht zu Bestimmungen, welche eine klare Uebersicht gewähren, geführt haben[3].

Eine folgenreichere Beobachtung war die von Brewster, daſs bei der Reflexion des Lichts von Metallen eine Veränderung des Strahls entsteht, die zu farbigen Bildern Anlaſs giebt, und daſs manche Metalle die Eigenschaft haben, durch wiederholte Reflexionen den Strahl vollkommen geradlinig zu polarisiren[4]. An diese schloſs Biot eine Reihe von Untersuchungen an, von denen ich, da ihre Resultate minder klar sind, als die der meisten übrigen Untersuchungen Biot's, nur einige wenige Bemerkungen hier mittheilen will.

Biot hebt besonders die groſse Verschiedenheit hervor, die sich bei demselben Metalle, namentlich beim Silber, zeigt, je-

1 On philosoph. Instrum. p. 344.
2 Schweigg. Jahrb. XXXII. 240.
3 Poggend. XXII. 614. Schweigg. Jahrb. XXXIII. 207.
4 Ph. Tr. 1815. 158.

Digitized by Google

nachdem es durch Schleifen die Spiegelglätte erhalten hat oder durch Hämmern auf einem polirten Ambos. Von dem ersteren giebt er an, daſs es einem bedeutenden Theile des reflectirten Lichts die *polarisation mobile* ertheile, das heiſst, dieses Licht fähig mache, eben solche farbige Bilder, wie die Gypsblättchen, darzustellen. Da er diese *polarisation mobile* als einen Uebergang zu der gewöhnlichen geradlinigen Polarisation ansah, so fand er es natürlich, daſs bei mehrmaliger Reflexion von solchen Silberflächen die gewöhnliche Polarisation eintrat. Diesen Antheil des Lichts, das anscheinend die *polarisation mobile* angenommen hatte, fand er bei dem durch Hämmern zum Spiegel gemachten Silber noch gröſser und dagegen die zur eigentlichen Polarisirung übergegangene Lichtmenge kleiner; bei polirtem Stahle hingegen war weit mehr Licht schon bei der ersten Zurückwerfung gewöhnlich polarisirt. Die durch Hämmern zur Spiegelglätte gebrachten Silberplatten dienten ihm vorzüglich bei seinen Versuchen. Er lieſs einen schon polarisirten Strahl mehrere Reflexionen von parallelen Platten, und zwar in gerader Anzahl, erleiden; wurde dann der mehrmals zurückgeworfene Strahl mit Hülfe eines Kalkspaths untersucht, dessen Hauptschnitt mit der Reflexions-Ebene zusammenfiel, so folgte der Strahl gänzlich der gewöhnlichen Brechung, wenn die Ebene der ursprünglichen Polarisation mit der Reflexions-Ebene zusammenfiel, sobald aber die letztere von jener abwich, gingen zwei farbige Bilder hervor, die bei nicht zu vielen Reflexionen ihre gröſste Lebhaftigkeit erhielten, wenn jene Abweichung 45° betrug. Die Farbe selbst hing vom Einfallswinkel ab[1].

135. Diese Untersuchungen scheinen wohl darum zu keinem eigentlichen Resultate geführt zu haben, weil Biot zu jener Zeit an eine Polarisation, der Circularpolarisation ähnlich, gar nicht denken konnte und diese doch hier statt zu finden scheint. Es ist Brewster's Verdienst, dieses zuerst dargethan zu haben[2], und Neumann[3] hat durch wichtige theoretische Untersuchungen den Werth jener Bestimmungen noch mehr ins Licht gesetzt. Ich werde die Resultate beider Untersu-

1 Biot Traité IV. 582.
2 Ph. Tr. 1830. 287. Poggend. XXI. 219.
3 Poggend. XXVI. 89.

Digitized by Google

chungen, so gut es mir möglich ist, vereinigt hier mittheilen.

Zuerst verdient der Umstand, der bei den Metallspiegeln fast so wie bei unbelegtem Glase statt findet, hervorgehoben zu werden, daſs auch hier der schon polarisirt einfallende Strahl sehr viel schwächer reflectirt wird, wenn die Zurückwerfungs-Ebene senkrecht gegen die Ebene der ursprünglichen Polarisation ist, als wenn beide zusammenfallen, indeſs wird auch bei dem Winkel, der hier der Winkel vollkommenster Polarisation heiſsen müſste, der vom Metallspiegel zurückgeworfene Strahl nicht = 0, wenn auch beide Ebenen auf einander senkrecht stehn, sondern er ist nur bei diesem Einfallswinkel kleiner, als bei jedem andern.

136. Weit wichtiger aber sind die Erscheinungen, die bei der Zurückwerfung von Metallen auf eine elliptische Polarisation hindeuten. Wenn ein geradlinig polarisirter Strahl durch zwei Totalreflexionen, deren Ebene + 45° gegen die Polarisations-Ebene geneigt war, die kreisförmige Polarisation erlangt hat, so reichen zwei neue, den vorigen ganz gleiche, Totalreflexionen hin, um ihn wieder in den Zustand der geradlinigen Polarisation in einer unter — 45° gegen die letzte Reflexions-Ebene geneigten Ebene zu versetzen[1]. Wenn dagegen unter dem bestimmten Einfallswinkel, den wir auch hier den Polarisationswinkel nennen wollen, ein polarisirter Strahl von einem Metallspiegel zurückgeworfen wird und die Reflexions-Ebene + 45° gegen seine ursprüngliche Polarisations-Ebene geneigt ist, so wird er dadurch in einen Zustand versetzt, der ebenso wie dort von der gewöhnlichen Polarisation verschieden ist, und aus dem er durch eine zweite Reflexion von einem dem vorigen parallelen Metallspiegel zwar auch wieder in den Zustand der geradlinigen Polarisation zuzückgebracht wird, aber so, daſs die Richtung der neuen Polarisations-Ebene weniger als 45° nach der andern Seite liegt. Dieser Winkel nähert sich bei reinem Silber, wo er — 39° 48′ ist, den vollen 45° am meisten, und der durch *eine* Reflexion von Silber (unter dem Polarisationswinkel und unter + 45° Azimuth) modificirte Strahl ist also der Circularpolarisation am nächsten; bei Kupfer, wo dieser Winkel = — 29°, bei Stahl,

1 Vgl. nr. 124. 125.

Digitized by Google

wo er $= -17^\circ$, bei Bleiglanz, wo er $= -2^\circ$ ist, entfernt der Strahl sich bei den später genannten Metallen mehr als bei den früher genannten von der Circularpolarisation, und wir schreiben ihm eine elliptische Polarisation zu, die beim Bleiglanz schon fast völlig in die geradlinige Polarisation übergegangen ist.

137. Neumann's theoretische Betrachtungen rechtfertigen diesen Namen. Denkt man sich nämlich den unter $+45^\circ$ polarisirten Strahl in zwei, jeden von der Intensität $=1$, zerlegt, deren einer in der Reflexions-Ebene, der andere gegen sie senkrecht polarisirt ist, so werden diese beiden in ungleicher Intensität reflectirt und wir wollen die verhältniſsmäſsige Vibrationsgeschwindigkeit in jenem $=s$, in diesem $=p$ setzen. Legen wir nun, aus Gründen, die im Vorigen nr. 128. angegeben sind, der einen Undulation eine Verzögerung $=\frac{\delta}{\lambda}$ in Vergleichung gegen eine ganze Undulation λ bei, so ist die eine in der Phase $\left(\frac{t}{T}-\frac{\delta}{\lambda}\right)2\pi$, wenn die andere in der Phase $\frac{t}{T}.\,2\pi$ ist, und die Entfernungen von der Gleichgewichtslage werden durch

$$x = a p \text{ Cos. } \left(2\pi\left(\frac{t}{T}-\frac{\delta}{\lambda}\right)\right) \text{ für die eine,}$$

$$y = a s \text{ Cos. } \left(\frac{2\pi t}{T}\right) \text{ für die andere}$$

ausgedrückt[1]. Aus diesen Gleichungen läſst sich $\frac{t}{T}$ eliminiren und man erhält

$$\left(\frac{x}{p}\right)^2+\left(\frac{y}{s}\right)^2 - 2\frac{x}{p}.\frac{y}{s} \text{ Cos. }\left(\frac{2\pi\delta}{\lambda}\right)$$
$$= a.^2 \text{ Sin.}^2\left(\frac{2\pi\delta}{\lambda}\right),$$

die Gleichung für eine Ellipse, deren Haupt-Axe gegen die Reflexions-Ebene unter dem Winkel $=\alpha$ geneigt ist, für welchen

$$\text{Tang. } 2\alpha = \frac{\frac{2p}{s}}{1-\frac{p^2}{s^2}}.\text{ Cos. }\frac{2\pi\delta}{\lambda}$$

1 Vgl. Art. *Undulation*, *Undulationstheorie*.

oder Tang. $2\alpha = $ Tang. 2β. Cos. $\frac{2\pi\delta}{\lambda}$ ist, wenn Tang. $\beta = \frac{p}{s}$. Diesen Werth von α muſs man nämlich in die Gleichung setzen, die auf Coordinaten u, v, die unter dem Winkel $= \alpha$ gegen die vorigen geneigt sind, sich bezieht, und dann erhält man $a^2 p^2 s^2 \text{Sin.}^2 \left(\frac{2\pi\delta}{\lambda}\right)$

$$= u^2 \left\{ s^2 \text{Cos.}^2 \alpha + p^2 \text{Sin.}^2 \alpha - ps \text{ Sin. } 2\alpha. \text{ Cos. } \left(\frac{2\pi\delta}{\lambda}\right) \right\}$$

$$+ v^2 \left\{ s^2 \text{ Sin.}^2 \alpha + p^2 \text{ Cos.}^2 \alpha + ps \text{ Sin. } 2\alpha \text{ Cos. } \left(\frac{2\pi\delta}{\lambda}\right) \right\},$$

woraus für $v = 0$ die eine, für $u = 0$ die andere Axe der Ellipse gefunden wird.

Wenn die Zurückwerfung n mal unter demselben Winkel statt findet, so ergiebt sich derselbe Ausdruck, nur muſs man p^n statt p, s^n statt s und $n\delta$ statt δ setzen. Findet sich dann, wie bei Brewster's unter dem Polarisationswinkel mit Metallen angestellten Beobachtungen, daſs bei diesem Winkel schon die zweite Reflexion ($n = 2$) eine neue geradlinige Polarisation giebt, so muſs die Gleichung für die Ellipse eine gerade Linie werden, welche fordert, daſs Sin $\frac{2\pi n\delta}{\lambda} = 0$ oder hier Sin. $\frac{4\delta\pi}{\lambda} = 0$ sey, womit $x = \pm \frac{p^2 y}{s^2}$ verbunden ist. In diesem Falle wird Tang. $2\alpha' = $ Tang. $2\beta'$, also Tang. α' = Tang. $\beta' = \frac{p^2}{s^2}$, indem hier (für $n = 2$) Tang. β' diesen Werth erhält.

Hier könnte nun allgemein $\frac{4\delta\pi}{\lambda} = m.\pi$ seyn, aber nach Brewster ist α negativ, die Polarisations-Ebene also nach der andern Seite liegend, daher Cos. $\frac{4\delta\pi}{\lambda} = -1, \frac{4\delta\pi}{\lambda} = \pi(2m+1)$, und endlich läſst sich aus andern Gründen zeigen[1], daſs m eine gerade Zahl seyn, also $\frac{\delta}{\lambda}$ einen Ueberschuſs von ein Viertel einer Undulation über ganze Undulationen geben muſs, und

1 Poggend. XXVI. 117. Anm.

wir können daher hier die Folgerung ziehn, daſs bei Zurückwerfungen von Metall unter dem Polarisationswinkel die Verzögerung der einen Vibration $\frac{1}{4}$ einer Undulation betragen muſs, weil bei zwei Reflexionen die Polarisation wieder geradlinig ist. Brewster's Beobachtung bestimmt für die von ihm untersuchten Metalle den Winkel α, der zum Beispiel, wie oben angeführt worden, für Silber 39° 48′, für Stahl 17° ist.

138. Wenn der Einfallswinkel ein anderer ist, so wird erst nach mehrmaligen Reflexionen unter immer gleichem Winkel die geradlinige Polarisation hergestellt, und hier ist, wenn n die Anzahl dieser Reflexionen bezeichnet, Sin. $\frac{2\pi n\delta}{\lambda}=0$. Nach Brewster's Bestimmung ist hier n allezeit gröſser als 2, es mag der Einfallswinkel $=J$ gröſser, als der Polarisationswinkel, oder $=J'$ kleiner als der Polarisationswinkel seyn. Aber eben diese Beobachtungen zeigen, daſs bei Winkeln J die Lage der Polarisations-Ebene immer negativ, nämlich an der andern Seite der Reflexions-Ebene ist, bei Winkeln J′ dagegen negativ, wenn n eine gerade Zahl, positiv, wenn n eine ungerade Zahl ist. Da nun im Allgemeinen Cos. $\frac{2\pi n\delta}{\lambda}=\pm 1$ und Tang. $\alpha=\pm\frac{p^n}{s^n}$ seyn könnte, so müssen wir für die Winkel J, wo der Strahl weiter vom Perpendikel entfernt, als bei dem Polarisationswinkel, auffällt, $\frac{2\pi n\delta}{\lambda}=\pi\,(2m+1)$ setzen, oder, weil für $n=2$ $m=0$ angenommen werden konnte, $\delta=\frac{\lambda}{2n}$. Für Winkel J′ dagegen ist $\delta'=\left(1-\frac{1}{n}\right)\frac{\lambda}{2}$, wodurch der Wechsel der Zeichen des Cosinus richtig hervorgeht.

Kennt man also zwei Winkel J und J′, welche eine gleiche Anzahl Reflexionen fordern, um die geradlinige Polarisation herzustellen, so ist die Summe der beiden Verzögerungen der Undulation $=\frac{\delta+\delta'}{\lambda}=\frac{1}{2}$, eine halbe Undulation, also betragen die Phasen, welche der Verzögerung in beiden Fällen entsprechen, zusammen 180°. Beim Stahl zum Beispiel sind 5 Reflexionen nöthig, damit die Polarisation wieder

geradlinig werde, sowohl wenn der Einfallswinkel $J = 84° 38'$, als auch wenn $J' = 56° 5'$ ist (die Beobachtung gab 84° 0′ und 56° 25′), und wenn man die Reflexion sich 10- oder 15mal wiederholen lieſs, so war die Polarisation immer aufs neue zur geradlinigen zurückgeführt; aber keineswegs verstärkte die Wirkung bei dem einen Einfallswinkel die bei dem andern, sondern wenn eine Reflexion unter 84° 38′ statt gefunden hatte und eine zweite unter 56° 5′ folgte, so war der Strahl wieder geradlinig polarisirt.

Da p und s hier die Verhältnisse der Schwächung der beiden Strahlen bei *verschiedenen* Einfallswinkeln angeben, so sind sie nicht als beständige Gröſsen anzusehn, sondern wenn man beim Stahl $\frac{p}{s} = \sqrt{\text{Tang. } 17} = \text{Tang. } 28° 56'$ für den eigentlichen Polarisationswinkel fand, so würde man für die eben erwähnten Winkel, wo 5malige Reflexion erforderlich war, um eine geradlinige Polarisation zu erhalten, und wo, nach Brewster, die Polarisations-Ebene eine Neigung von 10° 30′ hatte, $\frac{p}{s} = \sqrt[5]{\text{Tang. } 10° 30'} = \text{Tang. } 35° 31'$ erhalten. Diese Werthe lassen sich, wenn man $\frac{p}{s} = \text{Tang.}\,\beta$ setzt, durch die Formel $\text{Tang. } 2\beta = \dfrac{\text{Tang. } 2(28° 56')}{\text{Sin. } \frac{2\delta\pi}{\lambda}}$ darstellen, wo 28° 56′ der Winkel ist, den die Erfahrung als Werth von β für die vollkommenste Polarisation angab [1] und der bei jedem einzelnen Metalle ein anderer ist [2].

Brewster hat den Winkel, welcher die Verzögerung der Undulation ausdrückt, mit der Aenderung der Polarisations-Ebene bei gewöhnlicher Reflexion am Glase in Verbindung gesetzt. Für diese fanden wir (nr. 38.) $\text{Tang. } \varphi = \frac{\text{Cos.}(i + i')}{\text{Cos.}(i - i')}$, wenn ich dort φ statt α' und $\alpha = 45°$ setze. Dort bedeutete i den Einfallswinkel und i′ den Brechungswinkel; nehmen wir also beim Stahle $i = 75°$ als den Winkel vollkommener Pola-

1 Nämlich $\text{Tang. } \beta = \sqrt{\text{Tg. } 17°}$.

2 Neumann glaubt, daſs nach dem Zusammenstimmen aller Beobachtungen der Winkel 28° 56′ fast um 1° gröſser anzusetzen sey.

risation an, so ist (nach nr. 12.) Tang. $75° = 3{,}732$ der Brechungs-Index, und in jedem Falle $\text{Sin. } i' = \frac{1}{3{,}732} \text{ Sin. } i$. Für $i = 84° 38'$ würde also $i' = 15° 28',5$ seyn, $\varphi = 26° 16'$, und die Verzögerungsphase $\frac{2\pi\delta}{\lambda}$ ist $= 90° - 2\varphi = 37° 28'$. Für $i = 56° 5'$ würde $i' = 12° 51'$ und φ wieder $= 26° 16'$, wie es der übereinstimmenden Wirkung bei diesen zwei Werthen von i gemäſs ist.

139. Brewster macht für die Fälle, wo eine ungerade Zahl gleicher Reflexionen die Polarisation wieder zur geradlinigen zurückführt, die Bemerkung, daſs man hier die vollkommenste elliptische Polarisation als in der Mitte zwischen zwei Reflexionen liegend, z. B. $2\frac{1}{2}$ Reflexionen entsprechend, ansehn müsse. Er sieht dieses so an, als ob sie erreicht werde, wenn der Strahl seine gröſste Tiefe in der Metallfläche erreicht hat. Auch die Circularpolarisation kann so bewirkt werden, daſs sie bei $2\frac{1}{2}$, $3\frac{1}{2}$ Totalreflexionen vollkommen erreicht oder bei 5, 7 Reflexionen zu einer ebenso weit als die ursprüngliche abweichenden geradlinigen Polarisation zurückgeführt wird.

140. Eine andere Reihe der Versuche Brewster's betrifft die Frage, welche Aenderungen der Strahl erleidet, wenn die zweite Reflexion nicht in derselben Ebene, wie die erste, geschieht. In diesem Falle bedarf es bei jeder Neigung (Azimuth) der zweiten Reflexions-Ebene gegen die erste eines andern Einfallswinkels, um durch eine einzige neue Reflexion den Strahl zur geradlinigen Polarisation zurückzuführen. Ich nehme hier bloſs das Beispiel von einem Strahle, der vom Stahlspiegel unter 75° Einfallswinkel und 45° Neigung der ursprünglichen Polarisations-Ebene elliptisch polarisirt zurückgeworfen ist. Dieser fordert abermals 75° Einfallswinkel, wenn er unter 0°, 90°, 180°, 270° Azimuth der zweiten Reflexions-Ebene gegen die erste zurückgeworfen wird. Ist dagegen dieses Azimuth 45° oder 225°, so ist der Einfallswinkel $= 78°$ erforderlich; ist es 135° oder 315°, so muſs er $= 68°$ seyn, und wenn man $90° - 78° = 12°$ und $90° - 68° = 22°$ als Axen einer Ellipse annimmt, so entsprechen die sämmtlichen Radien der Ellipse, nach Winkeln, die den Differenzen der Azimuthe gleich sind, eingetragen, der Ergänzung der Ein-

fallswinkel zu 90°, die auf ähnliche Weise zu Herstellung der geradlinigen Polarisation erfordert werden. Diese von Brewster angegebene Uebereinstimmung mit der Ellipse kann man indeſs nicht gerade als vollkommen streng ansehn, da Neumann, der auch diese Versuche theoretisch beleuchtet, zeigt, daſs die beobachteten Winkel wohl um mehr als 1° unsicher sind. Eben diese höchst schätzenswerthe Untersuchung Neumann's, die überhaupt in den ganzen Gegenstand mehr Licht und Zusammenhang bringt, zeigt, daſs die Theorie alles das finden lehrt, was Brewster's Versuche ergeben, und daſs selbst die erheblich scheinenden Abweichungen der Theorie von der Erfahrung als gering erscheinen, wenn man richtig aufsucht, welche geringe Aenderungen der den theoretischen Bestimmungen zum Grunde gelegten Zahlen nur erforderlich sind, um bei den entferntern Resultaten mehr Uebereinstimmung hervorzubringen. In Rücksicht auf das Einzelne muſs ich auf jene beiden Abhandlungen verweisen.

141. Aber einen sehr merkwürdigen Umstand muſs ich noch hervorheben. Der Winkel des Polarisations-Maximums ist, wie sich erwarten läſst, nicht gleich für die verschiedenen farbigen Strahlen. Beim Silber z. B. ist der Polarisationswinkel = 73° für die hellsten (die mittlern gelben) Strahlen, dagegen 70°,5 für die blauen, 75°,5 für die rothen. Wenn man also einen weiſsen Lichtstrahl zweimal unter 70°,5 vom Silber zurückwerfen läſst, so ist zwar der blaue Strahl zur geradlinigen Polarisation, und dieses in der Ebene, deren Neigung — 39° 48′ ist, zurückgeführt, aber der rothe ist nicht zur geradlinigen Polarisation zurückgeführt. Stellt man daher den Hauptschnitt des zerlegenden Prisma's in — 39° 48′, so geht vom blauen Strahle nichts in das ungewöhnliche Bild über, wohl aber von den rothen Strahlen. Aber hier verdient nun ein unerwarteter Umstand hervorgehoben zu werden. Da wir die Tangente des Polarisationswinkels als das Brechungsverhältniſs angebend ansehn können, so ist dieses für Silber bei den rothen Strahlen = Tang. 75° 30′ = 3,866, bei den blauen Strahlen = Tang. 70° 30′ = 2,824. Ganz gegen alle sonst bekannten Erfahrungen würde also hier der rothe Strahl weit stärker als der blaue gebrochen, oder wenigstens wird, wie Neumann es ausdrückt, die gleiche Verzögerung δ bei blauem Lichte unter einem kleineren Einfallswinkel hervorge-

Digitized by Google

bracht. Diese Abweichung von allem, was uns sonst bekannt ist, verdient um so mehr Aufmerksamkeit, da sie mit Fresnel's Formeln (namentlich mit der am Ende von nr. 128.) nicht übereinstimmt und nach Brewster's Angabe eine ähnliche Abweichung auch bei der Totalreflexion statt findet.

XI. Polarisation des Lichts bei der Zurückwerfung von Luft und Dünsten.

142. Es ist schon im Anfange dieses Artikels mehrmals bemerkt worden, daſs man da, wo unpolarisirtes Licht gebraucht werden soll, sich gern des Lichts weiſser Wolken oder eines ganz bedeckten, weiſsen Himmels bedient. Dieses Licht hat vor dem Lichte des blauen Himmels den Vorzug, weil das letztere selbst schon polarisirt ist. Wenn man eine Doppelspathplatte, senkrecht gegen die Axe geschnitten, auf eine Turmalinplatte legt und beide vereinigt, so daſs der Turmalin dem Auge am nächsten ist, vor das Auge hält, so sieht man, nach dem *blauen* Himmel blickend, die schönsten Farbenringe, wenn man nach einem ziemlich weit von der Sonne entfernten Puncte hin blickt. Giebt man dem Turmalin die Lage, daſs er das in der Vertical-Ebene polarisirte Licht nicht durchläſst, so sieht man die Farbenringe mit dem schwarzen Kreuze an der der Sonne gegenüberstehenden Seite des Himmels; behält man eben die Lage des Turmalins bei und geht nun gegen die Sonne zu, so zeigen sich die aus acht Stücken bestehenden Farbenringe und endlich bei etwa 90° Abstand von der Sonne die Farbenringe mit weiſsem Kreuze; bei noch mehr Annäherung zur Sonne werden die Farben immer matter und verschwinden endlich ganz.

Offenbar wird das Licht, indem es von den Lufttheilchen zurückgeworfen wird, theilweise polarisirt und die Ebene der Polarisation ist vertical, wenn man nach einer der Sonne gegenüber liegenden Gegend hinsieht; dagegen wenn man in etwa gleicher Höhe mit der Sonne den Punct, wohin man das Auge richtet, nur etwa 90° von der Sonne entfernt wählt, so ist die Polarisations-Ebene horizontal. Hiermit ist, wie ich glaube, die ganze Erscheinung einfach erklärt.

Auch die weiſsen Wolken zeigen bei starker Erleuchtung

Digitized by Google

von der Sonne Spuren eben solcher Polarisation des von ihnen zurückgeworfenen Lichts, aber je mehr der Himmel gleichförmig weiſs bedeckt ist, je mehr also die Zurückwerfung eines von allen Seiten ziemlich gleichen Lichts statt findet, desto weniger wird eine Polarisation merklich.

von Göthe hat diese Erscheinung und ihren Wechsel nach den Tagszeiten zum Gegenstande einer nähern Betrachtung gemacht, aber auch Brewster und Biot hatten sie schon gleich beim Anfange ihrer Untersuchungen über diesen Gegenstand bemerkt [1].

v. Göthe hat es sich besonders angelegen seyn lassen, zu zeigen, daſs man mit Hülfe dieses vom Himmel polarisirt zu uns kommenden Lichts die Seebeck'schen Figuren darstellen könne; da aber seine Darstellung wenig wissenschaftliche Belehrung gewährt, so halte ich nicht für nöthig, die einzelnen Beobachtungen hier anzuführen.

Daſs auch das aus dem Regenbogen reflectirte Licht sich als polarisirt zeige, hat Brewster sowohl als auch v. Göthe bemerkt.

XII. Absorption des polarisirten Lichts.

143. Da der Turmalin mit so groſsem Vortheile bei fast allen bisher betrachteten Versuchen über die Polarisation angewandt wird, so war es unvermeidlich, von seiner Eigenschaft, das in der Ebene seines Hauptschnitts polarisirte Licht zu absorbiren, schon an einer andern Stelle zu reden; aber diese Absorption des polarisirten Lichts bietet noch zu manchen weiteren Betrachtungen Veranlassung dar [2].

Die im Art. *Farben* [3] angegebenen Untersuchungen Herschel's müssen hier in Beziehung auf jeden der beiden durch Doppelbrechung entstehenden Strahlen besonders durchgeführt werden, da der eine Strahl oft im Ganzen, oft auch in Be-

---

1 v. Göthe zur Morphologie. I. S. 16. 32. 144. 170. 246. Brewster on philos. Instrum. p. 349. Biot Traité IV. 333. Kastner's Archiv. X. 257.

2 Daſs der Dichroit zu ähnlichem Zwecke diene, giebt Marx an. Poggend. VIII. 248.

3 S. 115.

ziehung auf einzelne Farben, ein anderes Gesetz als der andere befolgt. Da, wo das erstere der Fall ist, erscheint der Körper ungleich durchsichtig, wenn man polarisirtes Licht nach einer Richtung oder nach einer andern Richtung durchgehn läſst, im zweiten Falle tritt ein Farbenwechsel, ein *Dichroismus*, ein, je nachdem der Lichtstrahl in verschiedenen Richtungen durchgeht. Nach Herschel's allgemeiner Ansicht ist die Absorption des Lichts bei allen durchsichtigen Körpern abhängig von dem Orte, den der auffallende Farbenstrahl im prismatischen Farbenbilde einnimmt, so daſs, wenn man eine Abscissenlinie in den Verhältnissen, wie es die rothen, gelben, grünen Theile des prismatischen Farbenbildes fordern, eintheilt, man die Intensität jedes durchgelassenen Farbenstrahls als Ordinate an dem Orte, welchem diese Farbe entspricht, auftragen und so eine, für jeden farbigen durchsichtigen Körper anders ausfallende, Scale der durchgelassenen Farben auftragen kann. Diese Scale ist bei einigen Körpern anders für den einen, als für den andern, bei der Doppelbrechung entstandnen Strahl, und überdieſs wird bei einigen die Scale für einen schon polarisirten Strahl anders nach Verschiedenheit der Neigung der Polarisations-Ebene gegen den Hauptschnitt oder nach Verschiedenheit der Neigung des Strahls gegen die Axe des Krystalls.

144. Um die Anwendung dieser theoretischen Betrachtungen nur an einem leichtern Falle zu zeigen, theile ich aus Herschel's Untersuchungen Folgendes mit. Da die Intensität des durchgelassenen Lichts in den beiden, bei der Doppelbrechung entstehenden Strahlen von der Neigung $= \vartheta$ gegen die Axe doppelter Brechung abhängt, so sey A die Intensität und Färbung des nach der Richtung der Axe durchgelassenen, B die Intensität und Färbung des bei gleicher Dicke senkrecht gegen die Axe durchgelassenen unpolarisirten Lichts; dann wird man das in jeder Richtung durchgelassene Licht durch

$$A.\ \text{Cos.}^2\ \vartheta + B.\ \text{Sin.}^2\ \vartheta$$

ausdrücken können. Als Beispiel hierfür führt Herschel das schwefelsaure Eisen-Suboxyd an, welches in sechsseitigen Prismen krystallisirt und nach der Axe der Prismen (wenn die Stücke nicht zu dick sind) blutroth, durch die Seitenflächen angesehn blaſsgrün erscheint; hier gehn, so genau sich dieses abmessen läſst, die Farben aus einer in die andere so über,

Digitized by Google

daſs die eine Färbung nach dem Quadrate des Cosinus abnimmt, während die andere nach dem Quadrate des Sinus des Winkels ϑ lebhafter hervortritt.

Herschel's fernere Untersuchungen und Formeln muſs ich, da sie keinen Auszug gestatten und sein Buch allgemein genug verbreitet ist, übergehn, und werde dagegen Brewster's Erfahrungen noch im Auszuge mittheilen [1].

145. Brewster führt zuerst, als Beispiel von Absorption des Lichts in einaxigen Krystallen, einen gelblichen Doppelspath an, wo das ungewöhnliche Bild mehr orangegelb, das gewöhnliche Bild mehr weiſslich gelb war. Wenn man auf diesen Doppelspath polarisirtes Licht so fallen lieſs, daſs man nur *einen* Strahl erhielt, so war auch hier das durchgelassene Licht mehr orangegelb bei dem ungewöhnlichen, mehr weiſslich gelb bei dem gewöhnlichen Strahle. In diesem Falle konnte also nicht das gelbe Licht aus einem Bilde in das andere übergegangen seyn, sondern von dem ungewöhnlichen Strahle ging durch Absorption weiſses Licht, vom gewöhnlichen Strahle ging durch Absorption gelbes Licht verloren. Eine andere Erfahrung bot ein bläulichgrüner Beryll dar. Lieſs man durch diesen einen polarisirten Lichtstrahl gehn, so zeigte sich das durchgelassene Licht blau, wenn die Axe des Berylls senkrecht auf der Polarisations-Ebene stand, und grünlich weiſs, wenn die Axe in der Polarisations-Ebene lag; bei den dazwischen liegenden Stellungen ging die eine Farbe in die andere über. Ein aus dem Beryll geschnittenes Prisma, welches die beiden, durch doppelte Brechung entstandenen Bilder von einander trennt, zeigt auch diese Bilder in eben jenen ungleichen Farben. Brewster führt eine Reihe anderer Körper an, die ähnliche Erscheinungen darboten. Ein Amethyst lieſs den polarisirten Strahl als blau durch, wenn die Axe sich in der Ebene der Polarisation befand, als hellroth, wenn die Axe senkrecht gegen diese Ebene war. Beim Idokras war Gelb im ersten, Grün im zweiten Falle, beim phosphorsauren Blei lichtes Grün und Orangegelb. Unter den zweiaxigen Krystallen, die Brewster anführt, hebe ich auch nur einige aus, und gebe zuerst die Farbe an, die der Strahl zeigt, wenn

---

1 Ph. Tr. 1819. 11. und G. LXV. 4. Einige Versuche mit dem Epidot von Liboschitz. G. LXIV. 427.

die Ebene durch beide Axen mit der Ebene der primitiven Polarisation zusammenfällt, und dann wenn beide auf einander senkrecht sind. Blauer Topas, weiſs, blau; grüner Topas, weiſs, grün; gelblich purpurfarbener schwefelsaurer Baryt, citronengelb, purpurfarben; Dichroit, blau, gelblich weiſs; Epidot, braun, saftgrün; essigsaures Kupfer, blau, grünlich gelb; chromsaures Blei, orange, blutroth u. s. w.

Als eine bestimmte Regel giebt Brewster es an, daſs einaxige Krystalle, die zwei gleichfarbige Bilder zeigen, auch von dieser Absorption des polarisirten Lichts frei sind, und daſs Krystalle, die keine doppelte Brechung zeigen können, die kubisch krystallisirenden zum Beispiel, auch diese Eigenschaften der Absorption nicht besitzen.

146. Wenn man ein Prisma aus übersaurem essigsaurem Kupfer den Sonnenstrahlen aussetzt, so daſs die Refractions-Ebene senkrecht auf die Axe des rhomboidalen Prisma's ist, und der Strahl durch den Winkel des Rhomboids geht, der $= 70°$ ist, so erscheinen zwei Sonnenbilder, das am meisten gebrochene grünlich gelb, das weniger gebrochene tief blau. Hat man eine Platte dieses Salzes so dünn geschliffen, daſs sie durchsichtig ist, so hat sie eine schöne grüne Farbe. Wird sie dem polarisirten Lichte ausgesetzt, so daſs die Axe des rhomboidalen Prisma's in der Ebene der primitiven Polarisation ist, so ist der durchgelassene Strahl tief blau; bei einer Drehung von 90° ist er in grünlich gelb übergegangen. Wenn die Facen der Platte senkrecht sind gegen eine der resultirenden Axen, so bildet das grüne und das blaue Licht die Form eines Kreuzes, dessen Aeste von den Polen keiner Polarisation divergiren.

Der Dichroit, dessen Krystallform die eines Prisma's ist, erscheint dunkelblau, wenn man nach der Richtung der Axe durch ihn sieht, und gelblich oder grau in der gegen sie senkrechten Richtung, wenn unpolarisirtes Licht auffällt. Schneidet man aus ihm eine Platte, die zwei gegen die eine Axe doppelter Brechung und zwei gegen die zweite Axe doppelter Brechung senkrechte Seitenflächen hat[1], und setzt sie einem polarisirten Lichtstrahle so aus, daſs die Ebene der Axen senk-

1 Diese Axen sind nach Brewster 31° 25′ gegen die Axe des Prisma's und 62° 50′ gegen einander geneigt.

Digitized by Google

recht auf die Ebene der ursprünglichen Polarisation ist, so zeigen sich Aeste blauen und weiſsen Lichts von den Polen divergirend. Wenn die Ebene der Axen mit der Ebene der primitiven Polarisation zusammenfällt, so zeigen sich in den Polen weiſse Lichtpuncte und alles übrige ist tief blau.

147. Die Erhitzung äuſsert auf diese Eigenschaft, gewisse Farben zu absorbiren, oft den entschiedensten Einfluſs. Bei einem Topas, dessen einer bei der Doppelbrechung entstehender Strahl gelb, der andere blaſsroth war, zeigte sich nach dem Glühen, daſs das Gelb fast vollkommen verloren gegangen war, dagegen das Roth nur eine geringe Veränderung erlitten hatte. Die Juweliere kennen dieses Mittel, durch Erhitzen aus gelben Topasen blaſsrothe zu machen, und es ist daher in dieser Beziehung bemerkenswerth, daſs man die Fähigkeit eines Topases, durch Erhitzen roth zu werden, daran erkennen kann, daſs eines der doppelten Bilder diese Farbe schon vorher zeigt.

148. Wie aber die innere Beschaffenheit der Körper seyn mag, vermöge welcher eine oft so sehr ungleiche Absorption der Farbenstrahlen in dem verschieden polarisirten Lichte statt findet, darüber ist nicht so leicht zu urtheilen, doch theilt Herschel folgende Betrachtung hierüber mit. Diese zweifarbigen Körper haben bei nicht allzu geringer Dicke die Eigenschaft, daſs unpolarisirtes Licht, wenn es nicht in der Richtung der Axe durchgeht, polarisirt hervorkommt. Eine solche Wirkung muſs durch jede Unterbrechung der Continuität in einigem Grade bewirkt werden. Denn wenn ein Blättchen von anderer Beschaffenheit zwischen den Krystalltheilchen liegt, so werden beide Strahlen an demselben nicht gleichmäſsig reflectirt, ja es könnte sich wohl ereignen, daſs das Blättchen dieselbe *gewöhnliche* Brechung verursachte, wie der Krystall, wo dann der gewöhnliche Strahl ungehindert durchginge, der ungewöhnliche aber durch Reflexion eine Schwächung erlitte. Auf diese Weise könnte gar wohl, vorzüglich wenn diese Zwischenschichten keine Ebenen, sondern unregelmäſsige Flächen sind, eine groſse Schwächung des einen Strahls mit einer unbedeutenden Schwächung des andern Strahls zusammengehören.

B.

Digitized by Google

Polarisation der Wärme.

Berard hat zu bemerken geglaubt, daſs unter denselben Umständen, wo bei Anwendung zweier Spiegel, um das polarisirte Licht unter dem Polarisationswinkel zurückzuwerfen, die Reflexion der Lichtstrahlen vom zweiten Spiegel aufhört, auch die Wärmestrahlen sich der Zurückwerfung entziehn. Er hat den Versuch so angestellt, daſs die zum zweiten Male reflectirten Lichtstrahlen ein Thermometer trafen, und dabei gefunden, daſs keine Erwärmung mehr merklich war, wenn die Lichtstrahlen nicht mehr zurückgeworfen wurden [1]. Aber Powell hat diese Verschiedenheit, daſs die Erwärmung merklich sey, sobald noch Licht zurückgeworfen werde, und aufhöre merklich zu seyn, wenn dieses nicht mehr der Fall ist, nicht wahrnehmen können [2]. Daſs aber doch auch die Wärmestrahlen eine Modification, die der Polarisation des Lichts ähnlich seyn mag, beim Durchgange durch transparente Körper erleiden, wird wahrscheinlich durch die Versuche von Delaroche [3], wo sich zeigte, daſs Wärmestrahlen, die schon durch *einen* Glasschirm gegangen waren, bei weitem nicht so viel an ihrer erwärmenden Kraft beim Durchgange durch einen zweiten Schirm verloren, als sie bei dem Durchgange durch den ersten verloren hatten; eine Erscheinung, die der in dem vorigen Artikel nr. 21. erwähnten sehr ähnlich ist.

B.

Polarkreis.

Circulus polaris; cercle polaire; *the polar circle.* Die beiden Polarkreise, die man sich an die Himmelskugel und auf der Erdkugel gezeichnet denkt, sind Parallelkreise zum Aequator, die um so viel, als die Schiefe der Ekliptik beträgt, von den Polen der Himmelskugel oder der Erdkugel abstehn. Daſs der *nördliche Polarkreis* (*circulus polaris arcticus*) vom *südlichen Polarkreise* (*antarcticus*) unterschieden wird, indem der eine dem einen Pole, der andere dem andern angehört, erhellt leicht.

---

1 G. XLVI. 382.

2 Brewster Journ. of Science. V. 206. (Octob. 1831.)

3 Journ. de Phys. LXXV.

Digitized by Google

Am Himmel ist der Polarkreis derjenige, in welchem einer der Pole der Ekliptik seinen täglichen scheinbaren Umlauf um den Pol vollendet. Auf der Erde bilden die Polarkreise die Grenze zwischen der kalten und gemäſsigten Zone sowohl auf der einen, als auch auf der andern Halbkugel. Jedem Orte, der auf der Erde im Polarkreise liegt, steht in jedem Augenblicke ein Punct des Polarkreises der Himmelskugel im Zenith. Die Orte auf dem Polarkreise sehn am längsten Tage die Sonne gar nicht untergehn, sondern, wenn die Strahlenbrechung nicht eine Aenderung machte, würde der Mittelpunct der Sonne an diesem Tage im Norden genau den Horizont erreichen, an jedem andern Tage aber wenigstens kurze Zeit unter dem Horizonte verweilen. Am kürzesten Tage würde, abgesehn von der Refraction, auf dem Polarkreise, selbst am Mittage, der Mittelpunct der Sonne nur den Horizont berühren, ohne über den Horizont hervorzukommen. Die innerhalb des Polarkreises liegende *Polarzone* unterscheidet sich daher von der *gemäſsigten Zone* dadurch, daſs in jener der Mittelpunct der Sonne um die Zeit der längsten Tage länger als 24 Stunden über dem Horizonte verweilt und dagegen auch in den kürzesten Tagen in einer Zeit, länger als 24 Stunden, nicht aufgeht; je tiefer man in die Polarzone eintritt, desto länger wird die Reihe von Tagen, wo im Sommer die Sonne nicht untergeht und im Winter nicht aufgeht. Der nördliche Polarkreis geht durch Lappland, Sibirien, die nördlichsten Gegenden von America, durch Grönland und Island; der südliche geht bloſs durch Meer. Da die Schiefe der Ekliptik sich im Laufe von vielen Jahrhunderten um etwas ändert, so ändert sich damit auch die Gröſse der Polarzone, jedoch höchst langsam.

B.

Polarstern.

Nordstern; *Stella polaris;* Étoile polaire; *Polar star.* Der hellste unter den dem Nordpole des Himmels nahe stehenden Sternen, den man meistens, als ob er selbst der unbewegliche Pol des Himmels wäre, ansieht. So unveränderlich bei der täglichen Drehung der Himmelskugel behält er nun freilich nicht seinen Platz, indem er gegen-

Digitized by Google

wärtig 1° 35′ vom Pole des Himmels entfernt ist und alſo täglich einen Kreis von dieſem Halbmeſſer durchläuft. Er iſt der letzte Stern im Schwanze des kleinen Bären, und man findet ihn, wenn man durch die zwei Sterne im groſsen Bären, die in dem bekannten Vierecke vom Schwanze am entferntesten ſind (die beiden Hinterräder des Wagens nach einer andern Bezeichnung), eine Linie vom Rücken des Bären hinaufwärts zieht, indem er der erſte gröſsere Stern in dieſer Linie iſt.

Der Abſtand des Polarſterns vom Pole iſt veränderlich und nimmt jetzt noch jährlich um $\frac{1}{3}$ Min. ab, daher er denn auch jetzt nur 1° 35′ vom Pole entfernt iſt, ſtatt daſs ſein Abſtand zu Tycho's Zeit beinahe volle 3° betrug. Da der Pol des Himmels einen Kreis um den Pol der Ekliptik durchläuft, auf welchem er in 70 Jahren einen Grad zurücklegt, ſo kann man ſich durch die Betrachtung der Himmelscharten oder der künſtlichen Himmelskugel leicht überzeugen, daſs vor etwa drittehalb tauſend Jahren der Stern β im kleinen Bären, der jetzt 15 Grade vom Pole abſteht, dem Pole ziemlich nahe ſtand und damals allenfalls Polarſtern heiſsen konnte, wogegen unſer jetziger Polarſtern damals dieſen Namen gar nicht verdiente. Für die nächſten Jahrhunderte bleibt der Himmelspol in der Nähe des jetzigen Polarſterns und rückt ihm noch 300 Jahre lang immer näher.

Der ſüdliche Pol des Himmels hat keinen ſo bedeutend groſsen Stern in ſeiner Nähe, daher man den ſchon 11° vom Südpole entfernten Stern β der kleinen Waſſerſchlange als Südpolarſtern anſieht, obgleich er ſchon einen ſehr bedeutenden Kreis um den Pol beſchreibt.

B.

Polarzone s. Polarkreis u. Erde.

Polemoskop.

Polemoscopium; Polemoscope; *Polemoscope*. Ein von Hevel angegebenes Inſtrument, um Gegenſtände zu betrachten, die in einer Richtung liegen, wohin man das Fernrohr nicht gut unmittelbar wenden kann. Der Name iſt von ihm deshalb gewählt, weil er glaubte, man könne es im Kriege

(*πόλεμος*) gebrauchen, um mit dem Fernrohre über eine Mauer oder einen Wall wegzusehn, während das Auge hinter diesem Schutze verdeckt bleibt[1]. Die von ihm vorgeschlagene Einrichtung ist, daſs die Röhre ABH bei A die dem Gegenstande zugekehrte Oeffnung, bei B einen ebenen Spiegel CD, Fig. 122.
bei E eine Objectivlinse, bei GF einen zweiten ebenen Spiegel, bei H ein Ocular habe. Es ist leicht zu übersehn, daſs die nach der Richtung JL einfallenden parallelen Strahlen auch parallel nach LM zurückgeworfen werden; indem sie nun die Linse E treffen, würden sie, durch diese convergent gemacht, ein Bild in N darstellen; aber da der Spiegel FG sie schon früher auffängt, so convergiren die zurückgeworfenen Strahlen und stellen ein Bild in P dar, welches, wie das Bild im gewöhnlichen Fernrohre, durch das Ocular betrachtet wird[2].

Das Instrument ist wohl kaum jemals zu dem Zwecke angewandt worden, worauf sein Name hindeutet; aber als *Operngucker*, wenn man sich den Schein geben will, nach der Bühne zu sehn, während man die seitwärts sitzenden Zuschauer mustert, ist es öfter gebraucht worden. Die unter dem Namen Operngucker bekannte Vorrichtung, wie man sie unter den alten optischen Apparaten häufig findet, besteht meistens aus einem Theaterperspective (*lunette d'opéra; opera glass*), dessen Rohr etwas über die Objectivlinse hinaus verlängert und seitwärts mit einer Oeffnung versehn ist. Dieser gegenüber befindet sich ein um 45° gegen die Axe des Instruments geneigter Spiegel, welcher die seitwärts auffallenden Lichtstrahlen gegen das Objectivglas reflectirt und es daher möglich macht, die seitwärts, auch die ober- und unterhalb des Beschauenden befindlichen Gegenstände zu sehn, während er die auf dem Theater befindlichen zu betrachten scheint.

B.

---

1 Hevelii selenographia. p. 24.

2 Als Belehrung über dieses Instrument gebend führt Gehler an: Hertel vollst. Anweis. z. Glasschleifen und z. Verfertig. opt. Maschinen. Halle 1716. Th. II. Cap. 4. — Leutmann Anmerk. vom Glasschleifen. Wittenb. 1719. §. 101. Smith vollst. Lehrbegriff d. Optik. Buch 3. Cap. 12. Zuweilen bestehn die Polemoskope in den physikalischen Cabinetten des geringern Preises wegen bloſs aus der angegebenen, zweimal rechtwinklig gebogenen Röhre mit den beiden Spiegeln und zwei Glasscheiben an beiden Enden, und dienen dann bloſs dazu, die Wirkung der Spiegel zu zeigen.

Digitized by Google

Polhöhe.

Altitudo poli, Elevatio poli; Élevation du Pole; *Elevation of the Pole,* ist die scheinbare Höhe des Himmelspols über dem Horizonte, oder die Anzahl von Graden, die ein vom Himmelspole senkrecht auf den Horizont herab-
Fig. 123. gelassener Bogen enthält. Dieser Bogen PR macht einen Theil des Meridians aus. Er ergänzt die Aequatorshöhe zu 90°, weil zwischen dem Aequator A und dem Pole P 90° enthalten sind und daher offenbar HA + PR auch = 90° ist, PR aber die Polhöhe, HA die Aequatorshöhe vorstellt.

Die geographische Breite ist, wenn man die Erde als eine genaue Kugel betrachtet, der Polhöhe gleich; denn auf dem Aequator der Erde sieht man den Pol im Horizonte, 90° vom Aequator sieht man den Pol im Zenith, und wenn die Erde eine genaue Kugel wäre, so würden Höhe des Pols und Abstand vom Aequator sich gleichmäſsig ändern.

Da die Methoden, die geographische Breite oder die Polhöhe zu finden, schon im Art. *Breite, geographische,* vorkommen, so übergehe ich sie hier.

B.

Polyeder.

Rautenglas; *Polyedrum, Polyhedron;* Polyhèdre, Polyscope; *Polyhedron, Polyscope.* Ein polyedrischer Körper ist eigentlich jeder, der durch viele ebene Flächen begrenzt ist; da diese Flächen bei den zu optischem Gebrauche bestimmten Polyedern gewöhnlich Rhomben, Rauten, sind, so haben sie den Namen Rautengläser erhalten.

Ihr, im Ganzen ziemlich unwichtiger, Gebrauch ist ein doppelter. Zuerst eine Vervielfältigung der Bilder, zweitens eine Darstellung eines bestimmten Gegenstands mit Hülfe ei-
Fig. 124. ner ganz anders aussehenden Vorzeichnung. Wenn ab, bc, de, ef einige Flächen des Glases sind, unter denen ich ab, de als parallel annehmen will, so ist offenbar, daſs das Auge O den Punct A nach der Richtung AO ohne alle Brechung sehn wird, daſs dagegen der Strahl AB, in ef gebrochen, auf bc so

in C eintreffen kann, daſs er abermals gebrochen nach CO zum Auge gelangt. Da aber dasselbe sich in mehreren verschiedenen Facetten ebenso wiederholen kann, so kann das Auge O den Punct A mehrmals sehn, und es kommt auf die Lage der Seitenflächen, vorzüglich auf die Anzahl der rund um a herum liegenden Flächen und auf die Lage des Puncts A und des Auges O an, wie oft dieses geschehn kann. Das Auge sieht also den Gegenstand sovielmal vervielfältigt, als das Glas Facetten hat, weil man allezeit den Gegenstand dahin setzt, wohin der vom Auge aus verlängerte Lichtstrahl trifft.

Ein andrer Zweck der polyedrischen Gläser ist, daſs eine vorgelegte, dafür eingerichtete Zeichnung durch das Glas einen Gegenstand zeigt, den man bei gewöhnlicher Betrachtung der Zeichnung nicht in ihr zu finden glaubte. Ist nämlich das Glas so geschliffen, daſs von der Mitte C die Pyramidenseiten Fig.
wie ABC nach allen Seiten hinaufwärts gehn, so sieht das 125.
Auge O den Gegenstand V und die ihn zunächst umgebenden so, als ob sie in der Richtung Ov lägen, und folglich, wenn acht solche Pyramidenseiten an einander grenzen, so erhält man aus acht verschiednen Gegenden V der Tafel vV ein zusammengestücktes Bild, das sich, wenn alles gut angeordnet ist, als ein einziges zusammenhängendes darstellen muſs. Man nennt diese Darstellung ordentlicher Figuren aus verzerrten oder zerstreuten Theilen vermittelst solcher Rautengläser oder auch konisch geschliffener *dioptrische Anamorphosen*[1].

Es ist nicht der Mühe werth, bei diesem kaum zur Belustigung, noch weniger zur Belehrung dienenden Gegenstande länger zu verweilen[2].

B.

Polyopter.

Polyoptron. Unter diesem Namen führt Gehler die Gläser auf, die an der hintern Seite eben sind, an der vor-

1 Vergl. Art. *Anamorphose*. Bd. I. S. 291.

2 Gehler verweist auf eine Abhandlung von Leutmann in den Comm. Acad. Petrop. IV. 194. und auf dessen Anmerkungen vom Glasschleifen.

dern Seite aber mehrere sphärisch eingeschliffene Höhlungen haben. Jede dieser hohl geschliffenen Stellen ist ein plan-concaves Glas, durch welches man die Gegenstände verkleinert sieht, und wenn mehrere neben einander sind, so sieht man dieselben Gegenstände in jeder dieser concaven Linsen, also die Gegenstände vervielfältigt.

B.

Porosität.

Porositas; Porosité; *Porosity.*

Porosität ist diejenige Eigenschaft der Körper, vermöge deren sie nicht absolut dicht sind, sondern zwischen der sie bildenden Masse Zwischenräume (*pori*, vom griechischen Worte *πόρος* das Loch, der Ausgang, von *πείρω* ich durchsteche, durchbohre) haben. Diese letzteren, auch *Poren* genannt, sind gröſser oder kleiner, die Körper sind also mehr oder minder porös, und diese ihre Eigenschaft wird daher unter die *relativen* gezählt, die insofern der Dichtigkeit entgegensteht, als sie mit dem Gegensatze dieser Eigenschaft, nämlich der *Lockerheit*, zusammenfällt, denn man darf im Allgemeinen annehmen, daſs die gröſsten Poren den lockersten Körpern zugehören. Insofern dieses aber nicht in ganzer Strenge richtig ist, da eine eigenthümliche Zusammenfügung der constituirenden Bestandtheile der Körper auch gröſsere und zahlreichere Poren mit gröſserer Dichtigkeit vereinbar machen könnte, so bildet die Porosität nur den Gegensatz gegen absolute Dichtigkeit, indem kein Körper absolut dicht seyn kann, zwischen dessen Bestandtheilen sich Zwischenräume oder Poren befinden [1].

Bei einigen Körpern ist die Zahl und die Gröſse der Poren so auffallend, daſs man sie ohne Schwierigkeit selbst mit bloſsen Augen wahrnehmen kann. Einige Holzarten unter andern, namentlich einige Stengel von Pflanzengewächsen, z. B. das spanische Rohr, zeigen auf ihrem Querschnitte sichtbar eine Menge Canäle, in denen bei ihrer Vegetation der Saft auf- und niedersteigt. Bei einer groſsen Menge anderer Kör-

1 Vergl. *Dichtigkeit.* Bd. II. S. 525. u. *Compressibilität.* Bd. II. S. 213.

Digitized by Google

per, namentlich bei allen aus dem Thier- und Pflanzenreiche unmittelbar entnommenen, die nicht eigentlich flüssig sind, zeigen stark vergröſsernde Mikroskope eine zahllose Menge von Poren, durch welche der zu ihrer Ernährung nothwendige Kreislauf der Säfte bedingt wird. Malpighi[1], Leeuwenhoek[2], Adams[3] und andere haben früher die auſserordentlich groſse Menge der Poren namentlich in Pflanzentheilen und thierischen Häuten nachgewiesen. Die menschliche Haut z. B. zeigt deren mehr als 1000 im Raume von einem Quadratzolle, und, sofern man nach den Messungen annimmt, daſs ihr Flächeninhalt, wenn man sie nach allen ihren Theilen ausgebreitet denkt, 15 Quadratfuſs oder 2160 Quadratzoll beträgt, enthielte sie hiernach 2'160000 Poren. In den neuesten Zeiten sind die Mikroskope bedeutend verbessert worden, und man hat daher noch ungleich feinere und zahlreichere Poren in Körpern aus dem Thier- und Pflanzenreiche wahrgenommen, als jene ältern Naturforscher auffinden konnten.

Diese, wenn man so sagen darf, gröbere und auffallendere Porosität der Körper pflegt man in den physikalischen Vorträgen durch einige Experimente anschaulich zu machen, denn ein eigentlicher Beweis oder ein beweisender Versuch kann da nicht verlangt werden, wo die Sache selbst schon durch den Augenschein ohne und mit Anwendung von Vergröſserungen sichtbar wird. Hierher gehört der sogenannte Quecksilber-Regen. Eine Campane von mittlerer Gröſse mit einem etwas verlängerten Halse wird oben mit einer Fassung versehn, in welche ein nach den Längenfiebern geschnittener Cylinder von Holz, am besten von Buchen-, Nuſsbaum- oder auch Mahagoni-Holz, eingekittet ist. Die Höhe des Cylinders darf nicht wohl unter 0,5 Zoll betragen, wenn der Versuch einige Beweiskraft haben soll, man kann ihn aber füglich 1 Z., 1,5 Z. oder selbst 2 Zoll hoch nehmen, ohne das Miſslingen des Versuchs zu befürchten; denn die genannten Hölzer sind so porös für das Quecksilber, daſs man sie mit Vorsicht zu Gefäſsen, z. B. bei Barometern, anwenden muſs, in denen dieses Metall nur bis zur Höhe von wenigen Zollen enthalten

---

1 Anatome plantarum. Lond. 1676. fol. Tab. V. u. VI.

2 Epist. 29. Contin. III. Epist. 74. Cont. V. Epist. 88.

3 Micrographia illustrata. Tab. XLVIII. bis LI.

Digitized by Google

seyn soll. Wird dann die genannte Campane über einem Glase auf den Teller der Luftpumpe gestellt, oben in die Fassung etwas Quecksilber gegossen und exantlirt, so drückt die Luft Letzteres in einem meistens nicht sichtbaren feinen Regen herab, so daſs es sich in dem untergestellten Glase in kleinen, stets wachsenden Kügelchen sammelt. Auch durch Leder läſst sich das Quecksilber pressen, wenn man ein kleines, dasselbe einschlieſsendes Säckchen fest zubindet und mechanischen Druck dagegen anwendet, oder wenn man in die eben beschriebene Fassung einer Campane eine Scheibe dicken weiſsen Leders statt des Holzes anbringt. Die Schale der Eier besteht aus einem feinen Häutchen und einer äuſsern, meistens aus Kalkerde gebildeten Hülle, welche beide dem unbewaffneten Auge keine Poren zeigen und auch der Luft den freien Durchgang nicht verstatten. Im Innern befindet sich eine kleine, zur anfänglichen Ernährung der Frucht erforderliche Luftblase, auch enthält die Flüssigkeit selbst absorbirte Luft. Legt man daher ein Hühnerei in ein Glas mit Wasser, setzt dieses unter eine Campane und exantlirt, so sieht man die Luft aus dem Innern durch die, hiernach als porös sich zeigende, Hülle in sehr feinen Strömen hervordringen und im Wasser aufsteigen. Durch eben diese Poren muſs auch ohne künstliche Vorrichtungen eine stete Verdunstung stattfinden und diese dann eine allmälige Umwandlung der in den Eiern enthaltenen Substanzen bewirken, wogegen man sie durch Verschlieſsung der Poren schützen kann. Letzteres geschieht durch Ueberziehen derselben mit Firniſs, oder noch zweckmäſsiger, wenn man sie in Kalkmilch legt. Zu diesem Ende löscht man den Kalk im vielem Wasser zu einer nach dem Erkalten der fetten Milch an Consistenz ähnlichen Flüssigkeit, rührt dieselbe stark um und legt die Eier so hinein, daſs sie ganz damit überdeckt sind, wodurch man sie den ganzen Winter hindurch und selbst auf längere Zeit gegen das Verderben sichert. Wenn man endlich einige Blätter Papier mit einer Auflösung von Silberglätte (gelbes Bleioxyd, *argyritis*) in Essig oder einer Auflösung von Bleizucker (essigsaures Blei) beschreibt, so ist diese Schrift anfangs nicht sichtbar; legt man sie aber in ein dickes Buch und in dieses zugleich vorn und hinten, auch allenfalls in der Mitte, Blätter von Flieſspapier, die mit einer wässerigen Lösung von Schwefelleber getränkt sind, und umbindet man das

Digitized by Google

Buch mit einer Schnur, so wird nach etwa 24 Stunden die Schrift sichtbar seyn, weil die freiwerdende, gasförmige Hydrothionsäure durch die vielen zwischenliegenden Lagen des porösen Papiers dringt und die Bleisalze reducirt.

Die Poren der Animalien und Vegetabilien sind von wesentlichem Nutzen, indem sie dazu dienen, eine Menge Substanzen aufzunehmen und auszuscheiden, ohne welche vereinte Processe sie weder wachsen noch gedeihn können. Bei den Animalien, und namentlich auch den Menschen, beruht hierauf die Ausdünstung; auch machen es die Poren möglich, daſs äuſserlich eingeriebene Heilmittel eindringen und sich oft durch den ganzen Körper verbreiten; beide Thätigkeiten des thierischen Organismus bilden einen bedeutenden Zweig der Untersuchung für die Physiologie. Auch bei den Blättern der Pflanzen findet eine bedeutende Ausscheidung von Luft und Dampf durch ihre zahllosen Poren statt, durch die sie hinwiederum Feuchtigkeit aus der Atmosphäre aufsaugen, weswegen sie verderben, sobald man sie mit einem ihre Poren verstopfenden Firniſs überzieht.

Diejenigen Körper, welche man gemeiniglich porös nennt und deren Poren dem unbewaffneten Auge oder vermittelst des Mikroskops sichtbar werden, sind im Allgemeinen von der Art, daſs sie die Luft und sonstige gasförmige Körper oder selbst auch tropfbare Flüssigkeiten durch ihre Zwischenräume in gröſserer oder geringerer Menge und in Folge eines gröſseren oder geringeren Druckes entweichen lassen. Hierher gehören also auch diejenigen Körper, bei denen die Durchdringung langsam und unmerklich erfolgt, z. B. Thierblasen, die zwar bei der Anwendung mechanischer Gewalt eher zerreiſsen, als die eingeschlossenen Gasarten entweichen lassen, allein in etwas mehr als etwa 24 Stunden findet man sie dennoch meistens mit atmosphärischer Luft gefüllt und die sonstigen Gasarten ans ihnen entwichen. Auf gleiche Weise zeigen sich namentlich die anscheinend undurchdringlichen thierischen Häute porös in allen denjenigen Phänomenen, in denen die Kraft der Adhäsion die durch jene von einander getrennten Stoffe einander zuführt, wie bereits oben[1] erwähnt

1 *Adhaesion.* Bd. I. S. 200.

worden ist, wohin dann auch die bekannten Versuche Sömmering's[2] über die Entwässerung des Branntweins gehören. Zu diesem Ende nimmt man groſse Rindsblasen, reinigt sie von ihrem Fette, überzieht sie mit einer Auflösung von Hausenbl se und läſst sie trocknen. Werden sie dann etwa zu zwei Drittel mit schlechtem Branntwein angefüllt und in einem trocknen Zimmer oder in trockner Luft aufgehangen, so vermindert sich das Volumen des Branntweins durch Verdunstung des Wassers und er wird bis zu etliche neunzig Procent gehaltreicher an Alkohol. Alle diese Erscheinungen verlieren ihre anscheinende Wunderbarkeit, wenn man berücksichtigt, daſs die thierischen Häute aus zahllosen feinen, über einander liegenden und somit sehr feine Poren einschlieſsenden Lamellen bestehn. Eine mit einer wässerigen Flüssigkeit angefüllte Thierblase z. B. wird zuerst an ihrer innern Wandung und allmälig durch ihre ganze Masse feucht werden. Geht die zu äuſserst befindliche Flüssigkeit als Wasserdampf in die atmosphärische Luft über, so würde eine Lage von einiger, wenn auch geringer, Dicke absolut trocken werden, was wegen der sie berührenden feuchten nicht möglich ist, und so wird also, wenn man diese Argumentation für alle einzelnen Lagen fortsetzt, die eingeschlossene Feuchtigkeit allmälig durch die feinen Poren verdunsten.

Als nicht porös in dem bisher erörterten Sinne, wenigstens als nicht durchdringlich für Gasarten und tropfbare Flüssigkeiten, gelten das Glas und die glasartigen Zusammensezzungen, die compacten und gebrannten Erden und insbesondere die Metalle. Bei den letztern leitet man diese Eigenschaft davon ab, daſs sie anfangs flüssig waren, wie denn auch andere aus dem tropfbar flüssigen Zustande erhärtete Körper, als Harze, Gummi, getrocknetes Eiweiſs, Wachs und die härteren thierischen Fette meistens der Luft und den tropfbaren Flüssigkeiten den Durchgang nicht verstatten. Inwiefern dieses aus dem früheren Flüssigkeitszustande abgeleitet wird, soll sogleich erörtert werden, in Beziehung auf die Metalle aber sind noch die Erscheinungen zu erwähnen, aus denen man früher ihre Porosität folgerte, die aber Lichtenberg aus

1 Münchner Denkschriften. 1822. Vergl. Geiger Mag. für Pharmazie. Th. X. S. 43.

Digitized by Google

einer feinen Zerreiſsung ableitete, wie bereits oben[1] mitgetheilt worden ist. Ausgemacht ist wohl, daſs namentlich die Metalle in der bis jetzt betrachteten Bedeutung für nicht porös gelten müssen, wie dieses die starken Compressionen der Luft in den Windbüchsen genügend beweisen.

Bei tropfbar flüssigen Körpern kann man weder mit bloſsem Auge noch mit den stärksten Vergröſserungen der besten Mikroskope solche eigentliche Zwischenräume wahrnehmen, als bei festen, auch macht ihr specifisches Gewicht hierbei keinen Unterschied, indem diese anscheinende vollkommene Dichtigkeit sowohl bei flüssigen Metallen, namentlich dem Quecksilber, als auch beim Weingeiste und den spec. leichtesten Aetherarten angetroffen wird. Daſs dieses nicht von der Dichtigkeit, d. h. von der Menge der in einem gegebenen Raume vereinten materiellen Theilchen abzuleiten sey, unterliegt keinem Zweifel, indem Holzarten und Knochen, welche specifisch schwerer als Wasser sind, unter dem Mikroskope zahllose Poren zeigen. Man leitet daher den Mangel der Porosität bei den Flüssigkeiten von einer gleichmäſsigen Vertheilung oder Lage der Bestandtheile ab, woraus denn zugleich nach atomistischer Ansicht folgt, daſs die körperlichen Elemente einander näher kommen können, als in demjenigen Zustande, in welchem sie keine sichtbaren Poren zeigen, und letztere also dennoch, aber unmerklich klein, vorhanden seyn müssen.

Oft dringen sehr feine Materien nicht durch Körper, deren Zwischenräume gröſser sind, als wir die Elemente von jenen annehmen müssen. So sind unter andern die Poren im Korke nach mikroskopischen Messungen bei weitem gröſser als die kleinsten Theile des Wassers, des Weins und anderer Flüssigkeiten, lassen aber diese dennoch nicht durch, wie man bei verkorkten Flaschen wahrnimmt[2], ja ein etwas zusammengedrückter weicher und sehr poröser Kork läſst sogar die Luft- und Gas-Theilchen nicht durch seine Masse dringen. Die

---

1 S. *Compressionsmaschine.* Bd. II. S. 220.

2 Das Eindringen des Wassers in verkorkte Flaschen, die im Meere zu beträchtlicher Tiefe versenkt werden, nach den Versuchen von Leslie (oben Bd. II. S. 214.), Perkins, Herzberg (Magazin for Naturvidensk. 1825. p. 75 ff.) und andern, ist keine Folge der Porosität des Korks, indem die Flüssigkeit vielmehr neben demselben vorbei gepreſst wird.

Digitized by Google

Ursache hiervon liegt in der *Adhäsion*, indem die einzelnen Theilchen der Flüssigkeiten zu stark unter sich zusammenhängen, als daſs sie sich trennen und in die Zwischenräume des Korks eindringen sollten, und die Erscheinung kommt also damit überein, daſs das Quecksilber, welches durch die Poren der härtesten Hölzer gedrückt werden kann, sich in einem lockeren Flore tragen läſst[1].

Die bisher angestellten Untersuchungen über die ungleiche Porosität der Körper sind leicht und die dahin gehörigen Thatsachen lassen sich ohne Schwierigkeit nachweisen; man hat jedoch auſserdem noch andere Erscheinungen als Folgen der Porosität betrachtet, bei denen die Aufgabe ungleich schwieriger und die Richtigkeit der Erklärung zweifelhaft ist. Die Flüssigkeiten namentlich zeigen, auch mit Anwendung der stärksten Vergröſserungen, keine Zwischenräume, dennoch aber nehmen sie eine Menge von Luft in sich auf, ohne daſs ihr Volumen merklich vergröſsert wird, und die durch ihre ganze Masse verbreiteten Gasarten werden wieder frei durch Aufhebung des äuſseren Luftdrucks oder durch das Erhitzen derselben, am besten wenn dieses, z. B. beim Wasser, beim Quecksilber u. s. w., bis zum Sieden steigt, in welchem Falle die gebildeten Dämpfe eine möglichst vollständige Austreibung der absorbirten Gasarten bewirken. Da aber die hierher gehörigen Thatsachen bereits ausführlich erörtert worden sind[2], so überhebe ich mich einer weitern Verfolgung dieses Gegenstands und bemerke bloſs, daſs man sich diese heterogenen Substanzen nicht füglich anders als in den Zwischenräumen der Flüssigkeiten vorhanden denken kann, wonach die letzteren aber nothwendig porös seyn müssen. Eine ähnliche Folgerung findet statt hinsichtlich der Auflösung verschiedener fester Körper in Flüssigkeiten, z. B. des Zuckers, der Salze u. s. w. im Wasser, der Harze im Weingeist, und anderer dergleichen Erscheinungen. Auch in diesen Fällen kann man nicht wohl umhin anzunehmen, daſs die kleinsten Elemente der aufgelösten Körper in den unmeſsbar kleinen Zwischenräumen der Flüssigkeiten vertheilt sind. Mehrere Flüssigkeiten nehmen nach ihrer Vereinigung einen geringern Raum ein, als welcher der

1 Vergl. *Adhaesion*. Bd. I. S. 177.

2 S. *Absorption*. Bd. I. S. 40 ff.

Digitized by Google

Summe beider gleich ist. Wenn man z. B. zwei Theile Wasser mit einem Theile Weingeist vereinigt, so ist das Volumen um etwa 0,05 kleiner als die Summe beider; etwas Aehnliches ſindet statt, wenn man Wasser und Säuren, oder aufgelösete Alkalien und Salze mit Säuren vereinigt, aus welchen Versuchen bereits Hooke, Hawksbee[1], Reaumur[2] und andere eine Vertreibung der einen Flüssigkeit in die Poren einer andern folgerten.

Eine groſse Menge von Erscheinungen, die den eben mitgetheilten sehr ähnlich sind, bringt man gleichfalls auf die Annahme vorhandener Poren in solchen Körpern zurück, in denen man diese weder mit unbewaffnetem, noch mit bewaffnetem Auge wahrnehmen kann. Hierher gehört das Eindringen des bei gelinder Hitze schmelzenden Spieſsglanzes in erhitztes Silber nach Homberg's Versuchen[3], das bekannte Eindringen des Quecksilbers in Gold, Silber, Zinn, Blei u. s. w., das Eindringen des Wassers in den *Hydrophan*, des geschmolzenen Wachses in den *Pyrophan*, das Färben des Marmors durch harzige Auflösungen und andere mehr. Es läſst sich wohl nicht verkennen, daſs alle diese Phänomene aus einem Eindringen der genannten Substanzen in die Zwischenräume der Körper zu erklären sind und man diesemnach letztere insgesammt für porös halten müsse. Ungleich weniger leicht kann dieses gefolgert werden, wenn Körper durch Flüssigkeiten, als Salze durch Wasser, Harze durch Weingeist, Metalle durch Säuren aufgelöst werden. Auch hierbei sagt man allerdings, die Flüssigkeiten müſsten in die Poren der festen Körper eindringen, weil sie sonst keine Theile von ihnen losreiſsen könnten, und übereinstimmend mit dieser Erklärung ist es allerdings, daſs die stark polirten Metalle, auf deren glänzender Oberfläche also die Zwischenräume erfüllt sind, weniger leicht von Säuren angegriffen werden, denen sie das Eindringen nicht auf gleiche Weise verstatten. Allein man könnte auch annehmen, daſs solche auflösende Mittel bloſs die von ihnen berührten Theile der Oberfläche durch überwiegende Anziehung mit sich vereinigten und dadurch von ihrer Masse los-

1 Physico-mechanical Exper. App. Exp. 13.
2 Histoire de l'Acad. 1733. p. 25.
3 Hist. de l'Acad. 1713. p. 409.

riſsen, wofür der Umstand entscheidet, daſs allerdings in denjenigen Fällen, wobei kein eigentliches Eindringen der auflösenden Substanzen stattfindet, z. B. bei aufzulösenden Metallen, die bereits angegriffenen und rauh gewordenen Oberflächen weggenommen, die Stücke selbst aber wieder polirt werden können.

Alle bisher erwähnte Erscheinungen der Porosität beziehn sich auf unbestreitbar materielle, in verschwindend kleinen Elementen darstellbare Substanzen; allein man hat bisher auch solche in diesen Bereich gezogen, wobei es nicht entschieden und schwerer bestimmbar ist, ob die durchdringenden Potenzen wirklich als materielle Substanzen zu betrachten sind. Man führt nämlich als Beweise der Porosität an, daſs das magnetische Fluidum durch alle nicht selbst magnetische Körper frei und ungehindert dringt, ja in einigen Cabinetten befinden sich noch Apparate, die dazu bestimmt sind, Weingeist in einer kreisförmig gebogenen Rinne brennen zu lassen, um zu zeigen, daſs ein von Auſsen genäherter Magnet eine von der Flamme ganz umgebene Magnetnadel durch die letztere hindurch afficirt, woraus dann die Porosität der Flamme für das magnetische Fluidum gefolgert wird. Auf gleiche Weise ist keine Substanz für die Wärme undurchdringlich, obgleich diese durch einige Körper in kürzerer, durch andere in längerer Zeit hindurchgeleitet wird, so daſs diese hiernach also für sie als mehr und weniger porös erscheinen müſsten. Auch der Durchgang des Lichts durch die Körper wird nach dem Beispiele von Musschenbroek[1] und Robert Boyle[2], welche viele Untersuchungen über diesen Gegenstand angestellt haben, aus der Porosität der Körper abgeleitet, was insbesondere in den älteren Zeiten viele Bemühungen nach sich zog, die Hypothese der Emanation oder der Undulation mit den Erscheinungen der Durchsichtigkeit in Einklang zu bringen[3]. Neuerdings hat man die hierher gehörigen Fragen mit geringerer Aufmerksamkeit beachtet, weil das Wesen des Lichts zuvor auf eine andere Weise aufgefunden werden muſs, woraus dann die Er-

1 Introduct. ad Phil. Nat. T. I. p. 91.

2 Experiments and Considerations about the Porosity of bodies. Lond. 1684. 8.

3 S. Art. *Durchsichtigkeit.* Bd. II. S. 698.

Digitized by Google

scheinungen der Durchsichtigkeit ohne groſse Schwierigkeiten eine Erklärung finden werden. Daſs man übrigens in den neuern Zeiten dieser Aufgabe nur geringere Aufmerksamkeit schenkte, hat insbesondere darin seinen Grund, daſs man nicht geneigt war, mindestens in Deutschland, die sogenannten unwägbaren Potenzen als wirklich materielle Substanzen zu betrachten, weswegen denn die Porosität der Körper nicht aus dem Durchgange der Inponderabilien durch die dickern oder dünnern Massen derselben gefolgert werden kann.

Endlich haben einige die Porosität der Körper aus ihrer Elasticität und aus ihrer Compressibilität gefolgert[1]. Die elastischen Körper, sagen sie, tönen entweder, wenn sie selbst geſtoſsen werden, oder wenn sie mit andern tönenden in Berührung sind. Um aber zu tönen, müssen sie vibriren, und dieses kann nicht statt finden, wenn nicht ihre Theile einander abwechselnd näher und entfernter gebracht werden, was wiederum ohne Zwischenräume oder Poren, in welche die Molecülen der Körper eindringen, oder die sich bei ihrer Entfernung erweitern, unmöglich ist; woraus dann folgt, daſs alle tönenden Körper auch porös sind. Man sieht jedoch bald ein, daſs zwar die Vibrationen elastischer Körper mit einer Erweiterung und Verengerung ihrer Poren sehr wohl vereinbar sind, keineswegs aber einander nothwendig bedingen, indem sich die Vibrationen füglich auf eine Verschiebung der Elemente der tönenden Körper zurückführen lassen, womit dann dieser Beweis von selbst wegfällt. Ungleich bedeutender ist dagegen das Argument, welches aus der Compressibilität der Körper hergenommen wird; denn sobald man nicht nach einer weitgetriebenen dynamischen Theorie die wirkliche Existenz der Materie im Raume aufhebt, so folgt nothwendig, daſs die Theile zusammengedrückter Körper einander näher rücken müssen, wenn ihr Volumen ohne Verminderung ihrer Masse geringer wird, und da die in einen gegebenen Raum ausgedehnte Materie nicht wohl ohne eine wesentliche Veränderung auch einen kleinern einnehmen kann, man mag als Ursache dieser Raumerfüllung ansehn, was man will[2], so folgt aus den Er-

1 Encyclopéd. meth. T. IV. p. 366.

2 Nach streng dynamischer Ansicht könnte man sagen, die Materie eines Körpers nehme denjenigen Raum ein, welcher ihr in Folge

scheinungen der Compressibilität nothwendig ein näheres Zusammenkommen der materiellen Theilchen eines Körpers und somit auch das Vorhandenseyn von Poren. Insofern aber die meisten, wo nicht alle Körper durch mechanische Gewalt zusammendrückbar sind, auf jeden Fall aber insgesammt durch Entziehung der Wärme eine Verminderung ihres Volumens erleiden, wie in den Artikeln *Compressibilität*, *Elasticität* und *Ausdehnung* ausführlich gezeigt ist, so muſs man um so mehr alle Körper für porös halten, als die Erfahrung zeigt, daſs die sichtbar mit gröſseren Poren versehenen sich am stärksten in einen kleinern Raum zusammendrücken lassen.

Aehnliche theoretische Untersuchungen über die Porosität der Körper hat man schon in den frühesten Zeiten angestellt und die widerstreitenden Ansichten mit groſser Heftigkeit angefochten; da aber die Hauptsache derselben sich auf die Vorstellungen vom Wesen der Materie bezieht und daher in jenem Artikel bereits ausführlicher abgehandelt worden ist, so beschränke ich mich hier bloſs auf die wesentlichsten Puncte. Nach Cartesius[1] giebt es die aus der Urmaterie entstandenen gröberen und feineren Theilchen, bis zu den feinsten herab, die den

des Gleichgewichts der beiden Grundkräfte, nämlich der Ziehkraft und Dehnkraft, zukomme, und ihr Volumen müsse verringert werden, sobald zu der ersteren dieser beiden Kräfte noch ein äuſserer mechanischer Druck hinzukomme. Allein dieses beruhet nur auf einer schwankenden Feststellung der Begriffe, indem einmal die Materie als der Träger der beiden Kräfte, das anderemal aber zugleich als aus diesen beiden Kräften bestehend angenommen wird. Ist die Materie bloſs Träger der beiden Kräfte, wenn auch durch sie nothwendig bedingt, so besteht sie einmal als etwas Gegebenes selbstständig, ungeachtet der unausgesetzten Wirksamkeit jener Kräfte; sie kann vermöge der unausgesetzt fortgehenden Theilbarkeit in stets kleinere Theile getheilt werden, und jedes Theilchen bis zu dem kleinsten wird allezeit seinen aliquoten Raum einnehmen, ohne daſs dieser ein kleinerer werden kann. Man müſste also bis zu den geometrisch unendlich kleinen Theilen und ihren unendlich kleinen Räumen herabgehn, die sich aber nicht summiren lassen und also keinen Uebergang zum Endlichen geben. Wäre aber die Materie selbst nichts anders als Kräfte, so kann keine Kraft selbst, wohl aber ihre Wirkung, durch eine entgegenwirkende vermindert werden, welche beide sich aber auf ein gegebenes Etwas beziehn müssen und also die Anwesenheit eines dritten Gegebenen voraussetzen. Vergl. *Materie*.

1 Vergl. Art. *Materie*.

Digitized by Google

Aether bilden, welcher die Zwischenräume der gröberen ausfüllend und in steter Bewegung befindlich für alle irdische Phänomene von groſser Bedeutung ist. Aeltere und spätere Naturphilosophen fanden jedoch die Annahme eines solchen Aethers unzulässig und hielten es für unvereinbar mit dem Wesen der alle Körper bildenden Atome, daſs der von ihnen eingenommene Raum oder ihr Volumen verkleinert werden könne, insofern die Theilung ihres Raums auch eine Theilung ihrer Masse als möglich gebe, weswegen sie dieselben für vollkommen hart und absolut dicht hielten. War aber der ganze Raum mit solchen Atomen erfüllt, so konnte nach der Einwendung der Gegner keine Bewegung statt finden und es war also nothwendig, absolut leere Zwischenräume anzunehmen, worauf dann der bekannte Streit unter den Philosophen darüber entstand, ob es absolut leere Räume geben könne. Daſs man hieraus kein entscheidendes Argument gegen die atomistische Hypothese entnehmen könne, ist bereits im Artikel *Materie* gezeigt, auch führt die ganze Sache auf einen bloſsen Wortstreit, indem wir über den absoluten Raum weder apriorisch noch durch Erfahrung irgend etwas festzusetzen vermögen, mithin auch selbst die vorläufige Frage unbeantwortet lassen müssen, ob derselbe begrenzt sey oder nicht. Sowohl nach der Erfahrung als auch nach Schlüssen, welche daraus schulgerecht entlehnt sind, müssen wir die unmeſsbar kleinen Theile der Materie, die Atome, für untheilbar ihrem Wesen nach und zugleich für absolut hart halten, weil jede Compression der Körper, wie klein wir uns dieselben auch denken mögen, ebenso wie bei den gröſseren, allezeit auf eine gröſsere Näherung der Theile hinauskommt, die also bei den Atomen nothwendig wegfällt. Hiernach scheint es mir unzulässig, ursprünglich elastische Atome anzunehmen, wodurch G. G. Schmidt[1] die Streitfrage über absolut leere Räume zu umgehn sucht; vielmehr zeigt uns die Erfahrung selbst die Flüssigkeiten, wenn sie sich im fast widerstandleeren Raume bewegen, wie z. B. das Wasser im Wasserhammer und die Luft beim Eindringen in ein Vacuum, dem heftigen Schlage nach zu schlieſsen, wo nicht als absolut, doch mindestens als sehr hart.

1 Hand- und Lehrbuch der Naturlehre. S. 19.

Digitized by Google

Alle diese und die damit zusammenhängenden Untersuchungen sind allezeit unfruchtbar gewesen und werden es auch fortdauernd bleiben. Sofern die Annahme eines leeren Raums auf die Bestimmung des Begriffs von der Materie einen Einfluſs hat, ist die Frage im Art. *Materie* bereits kurz erörtert worden, und hier wird es daher genügen, nur einige der vorzüglichsten Sätze der älteren Philosophen, die sich zunächst auf die Porosität beziehn, kurz beizubringen.

Die Annahme der Poren in den Körpern, welche bei einigen derselben sichtbar wahrgenommen werden, führt zu der Frage, ob dieselben leer oder gefüllt sind. Wo wir dieselben durch den Sinn des Gesichts erkennen, finden wir sie in der Regel, wo nicht allezeit, mit feineren Flüssigkeiten, entweder mit tropfbaren, oder bei weitem in den meisten Fällen mit Luft erfüllt; indeſs ist kein Grund vorhanden, nicht auch einige derselben für absolut leer zu halten, weil der Begriff eines absolut leeren Raums keinen innern Widerspruch einschlieſst[1]; aus der Erfahrung kann aber die Frage nicht beantwortet werden, weil die Zwischenräume so klein seyn können, daſs ihre Wahrnehmung und Messung auſser den Grenzen der Möglichkeit liegt. Die alten Philosophen unterschieden aber einen absoluten leeren Raum (*vacuum absolutum*), und verstanden hierunter eine für sich bestehende, von aller Materie freie und unbegrenzte Ausdehnung, die vor dem Vorhandenseyn der Körperwelt vorausgegangen seyn sollte, deren Untersuchung also auſser dem Gebiete der Physik liegt. Von dieser absoluten Leere verschieden ist die zerstreute Leere (*vocuum disseminatum*), worunter die einzelnen Zwischenräume oder Poren verstanden werden, die sich zwischen den Atomen oder deren Aggregationen zu Körpern befinden. Die Epikuräer nahmen sowohl jenes absolute, als auch das zerstreute Vacuum an, wovon das erstere nur nach einer ganz willkürlichen Hypothese vor der Schöpfung der Welt existirt haben sollte, letzteres aber als wirklich vorhanden nachgewiesen wurde[2]. Nach den Peripatetikern dagegen war alles mit Materie erfüllt, nirgends ein leerer Raum, vielmehr sollte die Natur einen Abscheu am leeren Raume (*horror vacui*) haben, aus welcher

1 Vergl. Musschenbroek Intr. T. I. §. 148 ff.
2 Lucretius de rer. nat. L. I. v. 335 ff.

Digitized by Google

unbekannten Kraft oder Thätigkeit eine Menge Phänomene abgeleitet wurden. Wesentlich verschieden hiervon sind jedoch genau genommen die weit bestimmter aufgefaſsten Ansichten des Cartesius[1], namentlich der Begriff, welchen er mit dem Ausdrucke des absolut erfüllten Raumes (*Plein absolu*) bezeichnet, wonach die Körperwelt allseitig unbegrenzt und nirgends ein leerer Raum anzutreffen ist. Bekanntlich folgerte er diesen Satz aus seiner unrichtigen Vorstellung vom Raume, den er für eine bloſse Negation eines existirenden Etwas ansah, und also folgerte, daſs zwei Körper, zwischen denen sich keine Materie, also Nichts befinde, sich nothwendig berühren müſsten. Die verschiedene Dichtigkeit der Körper ist hiernach also bloſs Folge der verschiedenen Menge von subtiler Materie, die sich in den Zwischenräumen der gröberen Theile befindet, und Bewegung entsteht oder ist bloſs möglich dadurch, daſs ein Theilchen in den Ort des zweiten, dieses in den des dritten rückt, und so fort, bis das letzte den des ersten einnimmt, welche Bewegung dann die ewig wiederkehrenden Wirbel bedingt. Gehler[2] meint, die Körpertheilchen müſsten hiernach ins Unendliche theilbar und von unendlich verschiedenen Gestalten seyn, daſs sie in allen möglichen Lagen in einander paſsten und nirgends Zwischenräume lieſsen, was aber die Ansichten des Cartesius nicht direct trifft; denn nach diesen sind eben die Partikeln der feinen Materie, des Aethers, so klein, daſs ihre Gestalt als unmeſsbar nicht in Betrachtung kommt.

Newton[3] erklärte sich gegen die Hypothese eines absolut erfüllten Raums, hauptsächlich in Folge seiner gehaltreichen Untersuchungen über den Widerstand der Mittel, obgleich ihm zugleich auch die Ableitung der Schwere aus den cartesischen Wirbeln anstöſsig war und ihn daher gegen die ganze Hypothese einnahm. Er zeigte, daſs die feine Vertheilung der Materie den Widerstand, welchen sie der Bewegung entgegensetze, nicht bedeutend vermindern könne. Der Widerstand sey der Dichtigkeit der Medien wenigstens nahe genau proportional, weswegen nur

1 Princ. Philos. P. II. §. 10 ff.
2 Wörterb. alte Ausg. Th. II. S. 869.
3 Princip. Phil. nat. L. II. prop. 38. u. 40.

Digitized by Google

dünne Flüssigkeiten die Bewegung in ihnen nicht bedeutend hindern; es müsse daher eine Kugel, die sich in einem cartesischen vollkommen dichten Medium bewege, schon über die Hälfte ihrer Geschwindigkeit verlieren, ehe sie noch die dreifache Länge ihres Durchmessers zurückgelegt habe. Hiernach könne kein Mensch sich von der Stelle bewegen, geschweige denn daſs die Bewegung der Himmelskörper mit ihrer bekannten Geschwindigkeit denkbar seyn sollte.

Es ist wohl keinen Augenblick zweifelhaft, daſs die Hypothese des Cartesius als ganz unzulässig verworfen werden muſs, indem ohne Rücksicht auf die gänzliche Willkür ihrer Aufstellung im Allgemeinen die einzelnen Kreisbewegungen, wodurch bei jeder Ortsveränderung irgend eines Körpers alle in dem Kreise liegenden gleichzeitig in Bewegung gesetzt werden müſsten, damit das letzte Theilchen in dem nämlichen Augenblicke den verlassenen Raum einnehmen könnte, in welchem das erstere aus ihm weicht, ganz auſser den Grenzen unserer Vorstellung liegen. Hiervon abgesehn wird die Gröſse der Kreise, in welchen diese Bewegung erfolgt, gar nicht angegeben, woraus jedoch die Gröſse der wirksamen Kraft bestimmt werden müſste, durch welche die gesammte darin enthaltene Masse in Bewegung zu setzen wäre. Man sieht bald, daſs Cartesius alle diese Schwierigkeiten durch die unbestimmbare Feinheit seines Aethers zu verdecken gesucht hat.

Wenn wir auch die Frage über die Materialität der unwägbaren Potenzen, deren wenigstens eine oder einige alle Körper durchdringen, unbeantwortet lassen und hieraus kein Argument für die Porosität als allgemeine Eigenschaft aller wägbaren Körper hernehmen, so liegt dennoch in der allgemeinen Ausdehnbarkeit aller Körper ein genügender Beweis für ihre Porosität, ohne zugleich zu entscheiden, ob die Poren leer oder mit leichten, dünnen und gleichfalls zusammendrückbaren Flüssigkeiten angefüllt sind. Die Phänomene, daſs durch Zusammendrückung der Körper Wärme ausgeschieden wird, was am leichtesten und allgemeinsten sich bei der Compression der Gasarten zeigt, führte auf die Hypothese, die elementaren Bestandtheile aller Körper durch eine Wärmeatmosphäre umgeben zu denken, die bereits mehrmals[1] ausführlicher

1 Z. B. in den Artt. *Ausdehnung*, *Elasticität*, *Gas* u. a.

erörtert worden ist und daher hier nur beiläufig erwähnt werden mag; sie erklärt sehr einfach und einer Menge von Erscheinungen angemessen, daſs kein Körper absolut dicht ist, selbst wenn wir seine Poren nicht unmittelbar wahrnehmen können. Hiermit in naher Verbindung steht dann zugleich die Hypothese über den Conflict anziehender und abstoſsender Kräfte, welche die wirklich darstellbaren, verschwindend kleinen, Elemente der Körper in gröſserem oder geringerem Abstande von einander erhalten und es daher möglich machen, daſs das Volumen der Körper durch mechanischen Druck und Wärmeentziehung vermindert wird. Nach der Art nämlich, wie seit den ältesten Zeiten her die Bedeutung des Wortes Porosität festgesetzt ist, würde aus dieser Hypothese gleichfalls folgen, daſs wir alle Körper porös nennen müssen, obgleich dieselbe sich weigert, Atome anzunehmen; denn die empirisch wahrnehmbaren, verschwindend kleinen, Theilchen der Körper können weder mit den Urkräften identisch, noch von ihnen verlassen seyn.

Sind endlich die Atome der Körper insgesammt gleich schwer und gleich groſs, so ist die Porosität dem specifischen Gewichte umgekehrt proportional, eine Betrachtung, welche in den neuesten Zeiten zu einer Vergleichung der specifischen Gewichte mit den Atomengewichten geführt hat. Daſs ein gewisses Verhältniſs zwischen beiden vorhanden sey, unterliegt keinem Zweifel und ist durch die Bemühungen vieler schätzbarer Gelehrten in ein helles Licht gestellt worden[1]; indeſs würde es nicht zweckmäſsig seyn, diese Aufgabe, die bis jetzt noch hauptsächlich in das Gebiet der Chemie gezogen wird, insofern die Bestimmung der Atomengewichte dieser Wissenschaft vorzüglich angehört, hier ausführlich zu erörtern, oder auch nur eine Uebersicht dessen zu geben, was darin bisher geschehn ist, weil wir schwerlich jemals weiter als zu relativen Bestimmungen der Atomengewichte gelangen werden und vielmehr eine absolute erforderlich wäre, wenn aus dieser und dem Volumen der Körper die Gröſse und Anzahl der Poren bestimmt werden sollten.

---

1 Ich erwähne in dieser Hinsicht nur die beiden Abhandlungen von Avogadro in den Memorie della R. Accademia di Torino. T. XXX. und XXXI. und daraus in Brugnatelli Giornale di Fisica. T. IX.

Digitized by Google

Aeltere Physiker haben sich bereits bemüht, das Verhältniſs der Menge von eigentlicher Materie und der sie trennenden Zwischenräume oder Poren in den gegebenen Körpern aufzufinden, und daraus einige nicht uninteressante Folgerungen abgeleitet, die schon des geschichtlichen Interesses wegen verdienen hier noch kurz erwähnt zu werden. Da das Gold in sehr dünnen Blättchen das Licht durchläſst und auſserdem der Wärme und dem Magnetismus den Durchgang gestattet, so fand man hierin einen Beweis für seine Porosität und setzte mit einiger Willkür die Menge seiner ponderabeln Masse und die der eingeschlossenen Zwischenräume einander gleich. Das Wasser fand man 19,25 mal leichter, und hiernach müssen dessen Zwischenräume zur eigentlichen Materie das Verhältniſs von 38,5 zu 1 geben; auf gleiche Weise der Kork bei einem spec. Gewichte von 1 zu 81,5 zum Golde das Verhältniſs von 163 zu 1. Hook zählte bei einer dünnen Scheibe Kork in der Länge von einem Zoll 1080 Poren, woraus für einen Kubikzoll 1259 Millionen folgen, die insgesammt durch sehr feine Wandungen umschlossen sind. Würde die hiernach vorhandene sehr geringe Masse zu absoluter Dichtigkeit zusammengepreſst, so könnte sie nur einen äuſserst geringen Raum einnehmen, und Priestley[1] meint daher, es liege nichts Widersprechendes in der Behauptung, daſs die gesammte solide Masse des Sonnensystems sich in eine Nuſsschale zusammenpressen lasse; wenn er aber hierdurch veranlaſst wird zu folgern, daſs es gar keine undurchdringliche Materie gebe, so antwortet hierauf de Luc[2] sehr richtig, daſs man ohne ein vorhandenes *Etwas* sich weder Körper noch Bewegung denken könne, wie gering man auch die zum Weltsysteme erforderliche Masse annehmen wolle, denn der Begriff der Bewegung setze auch etwas Bewegliches voraus und eine Wirksamkeit ohne Substanz sey überall eine Chimäre (versteht sich im Bereiche der physischen Welt).

Das Ansehn von zwei ausgezeichnet berühmten Geometern muſs als genügender Grund erscheinen, ihre Meinungen über die Porosität der Körper hier kurz zu erwähnen, wenn gleich

1 Disquisitions relating to matter and spirit. Lond. 1778. 8. p. 17.

2 Briefe über die Geschichte d. Erde u. d. Menschen. A. d. Fr. Leipz. 1781. Bd. V. S. 93.

die Principien, von denen sie hierbei ausgehn, gegenwärtig etwas wankend geworden sind. Newton hatte beobachtet, daſs zwischen einer auf eine plane Glasplatte gelegten und gedrückten Linse im Puncte der genauesten Berührung ein schwarzer Fleck zum Vorschein kommt und daſs eine Seifenblase da, wo das Häutchen derselben am dünnsten ist, eine ähnliche schwarze Stelle zeigt. Hieraus folgert er[1], daſs die Ursache der Reflexion nicht in dem Stoſse der Lichttheilchen gegen die festen Theile der Körper zu suchen sey, und hält es für sehr wahrscheinlich, daſs die auf feste Theile (*partes solidas*) der Körper stoſsenden Lichtstrahlen nicht reflectirt, sondern in den Körpern selbst verdunkelt werden und verschwinden. Stieſsen also die Lichtstrahlen beim Durchgange durch transparente Körper, z. B. Glas, Krystalle, Wasser u. s. w. auf feste Theile derselben, so müſsten diese ein trübes, dunkles Ansehn haben und schwarz erscheinen, wenn die meisten oder alle Strahlen auf diese Weise vertilgt würden. Hieraus folgt dann aber, daſs die Zwischenräume zwischen den soliden Theilen der durchsichtigen Körper ungleich gröſser sind, als man zu glauben sich geneigt fühlt. Das Gold z. B. ist 19 mal dichter als Wasser und dennoch dringt das magnetische Fluidum hindurch, Quecksilber drängt sich in seine Poren und selbst Wasser läſst sich durch dasselbe pressen, wie Newton auf die Aussage eines Augenzeugen annimmt[2], woraus folgt, daſs die Zwischenräume im Golde, die dieser Theorie nach leer seyn müssen, gröſser sind, als die durch die festen Theile eingenommenen Räume, wonach dann die ersteren beim Wasser vierzigmal gröſser sind, als die letzteren. Es ist zwar allerdings schwer, fährt Newton fort zu argumentiren, sich so groſse Zwischenräume vorzustellen, aber keineswegs unmöglich. Nach seiner Theorie von den Anwandlungen[3] werden nämlich die Farben der Körper durch die Dicke der Lagen bedingt, woraus sie bestehn. Wenn wir uns dann vorstellen, daſs die Zwischenräume zwischen diesen Lagen so groſs sind, als die Lagen selbst, und daſs die Lagen wieder aus andern mit gleichfalls gleich groſsen Zwischenräu-

1 Optice L. II. p. III. prop. VIII. p. 205. ed. Clarke.
2 Dieses Phänomen ist oben bereits anders erklärt.
3 S. *Anwandlungen* Bd. I. S. 301.

Digitized by Google

men beſtehn, und dieſe wieder aus ſolchen, ſo würden für dieſe dreifache Stufenfolge die leeren Räume in einem ſolchen Körper die ſolide Maſſe um das Siebenfache übertreffen, bei einer vierfachen Stufenfolge um das Funfzehnfache, bei einer fünffachen um das Einunddreiſsigfache, bei einer ſechsfachen um das Dreiundſechzigfache und ſo fort. Auf dieſen Hypotheſen iſt die Anſicht Newton's gegründet, daſs die Maſſe der ſoliden Materie ungleich geringer ſey, als das Volumen der leeren Räume, und daſs ſie im Verhältniſſe zum Raume im Allgemeinen nur äuſserſt unbedeutend ſey [1].

La Place, früher mehr geneigt, den eben erwähnten Hypotheſen des von ihm ſo hoch geprieſenen brittiſchen Geometers beizupflichten [2], beſchränkt ſich ſpäter darauf, daſs wir über alle dieſe Aufgaben nur nach Wahrſcheinlichkeitsgründen urtheilen können. Daſs derſelbe ein Anhänger der atomiſtiſchen oder ſogenannten Corpusculartheorie geblieben ſey, unterliegt keinem Zweifel [3], und dieſem gemäſs erklärt er ſich beſtimmt für die Anſicht, daſs die Dichtigkeit der Körper von der Menge der in einem gegebenen Volumen enthaltenen materiellen Puncte abhänge. Hiernach würde eine Subſtanz ohne Poren den höchſten Grad der Dichtigkeit haben und die Vergleichung anderer Körper mit dieſer gäbe dann die Menge der in jener enthaltenen Materie. Da uns aber eine ſolche abſolut dichte Subſtanz nicht gegeben iſt, ſo können wir nur irgend eine als normale annehmen, wozu ſich das reine Waſſer im Puncte ſeiner gröſsten Dichtigkeit am beſten eignet, und die Vergleichung des abſoluten Gewichts und des Volumens anderer Körper mit dieſem giebt dann die ſpecifiſchen Gewichte. Alles zuſammengenommen führt zu dem wahrſcheinlich richtigen Schluſſe, daſs allen Körpern eine ihrem Weſen nach gleichartige Materie (namentlich gleich ſchwere Elemente) zum Grunde liege und dieſelben ſich bloſs durch die Geſtalt und Gröſse ihrer Poren und materiellen Grundſtoffe (*molécules intégrantes*) unterſcheiden. Hiernach müſsten alle Körper

---

1 Daſs alle dieſe Folgerungen unhaltbar ſind, unterliegt keinem Zweifel, indeſs iſt es merkwürdig, daſs Fraunhofer's Unterſuchungen über die Interferenzen zu ähnlichen, aber gegründetern Folgerungen führen. G. LXXIV. 366.

2 Système du monde. Ire éd. An IV. de la Rép. Chap. XV.

3 Eb. Vme éd. Par. 1824. T. I. p. 294.

porös seyn, weil wir keine absolut dichte Substanz kennen, und diese auch so lange unmöglich bleibt, als es uns nicht gestattet ist, den absoluten Nullpunct der Wärme und somit die Verminderung des Volumens der Körper durch Entziehung derselben zu erreichen. Inzwischen gesteht La Place die Möglichkeit zu, daſs die Molecülen der Körper wesentliche Verschiedenheiten zeigen, auch findet er es unsern beschränkten Begriffen von dem Wesen der Materie nicht widerstreitend, die Himmelsräume mit einem Fluidum ohne Poren erfüllt zu denken, welches dennoch den Bewegungen der Himmelskörper einen nur unmerklichen Widerstand entgegensetzt, wodurch er die unveränderte Bewegung jener mit den Ansichten derer zu vereinigen wähnt, die einen absolut leeren Raum für unmöglich halten. Ob übrigens diese Hypothese zulässig sey, hierüber zu entscheiden würde eben zu der so schwierigen und wahrscheinlich unmöglichen Bestimmung des eigentlichen Wesens der Materie führen, die der groſse Geometer als unfruchtbar und zwecklos zu umgehn sucht, indem er sagt, daſs die Mechanik bei den Körpern bloſs ihre Masse, ihr Volumen und die Gesetze ihrer Bewegung in Betrachtung ziehe. M.

Positionswinkel.

Angulus positionis; Angle de position; *Angle of position.* Wenn man von einem Sterne aus einen gröſsten Kreis durch den Pol des Aequators und einen gröſsten Kreis durch den Pol der Ekliptik zieht, so heiſst der Winkel, den diese beiden Kreise mit einander bilden, die *Position* oder der *Positionswinkel* des Sterns. Dieser Winkel ist $=0$, wenn der Stern in dem gröſsten Kreise ist, der durch die Pole des Aequators und der Ekliptik geht; auch für alle andern Fälle wird er leicht gefunden.

B.

Potenz.

Mechanische Potenz, einfaches Rüstzeug, einfache Maschine; *Potentia mechanica,*

Digitized by Google

machina simplex; Puissance mécanique, machine simple; *Simple machine, mechanical power.*

In der Mathematik sagt man, irgend eine Gröſse, zunächst eine Zahl, sey zu irgend einer Potenz oder Potestät erhoben, welche durch eine andere Gröſse, den Exponenten, bezeichnet wird. In dieser Bedeutung gehört das Wort *Potenz* zunächst und ausschlieſslich in das Gebiet der Mathematik und kommt daher hier nicht weiter in Betrachtung.

Der Physiker bezeichnet nicht selten durch den Ausdruck Potenz etwas, was sich in der Natur als wirksam zeigt, indem es als wirksames Agens gewisse Erscheinungen erzeugt, ohne daſs es jedoch für sich selbstständig als materieller Stoff darstellbar ist. Diese allgemeine und vorläufig unbestimmte Bezeichnung wird dann hauptsächlich deswegen gewählt, weil zuvor die Erscheinungen genauer untersucht werden sollen, ehe man darüber zu entscheiden wagt, ob die ihnen zum Grunde liegende wirkende Ursache eine materielle Substanz sey oder nur eine eigenthümliche Beschaffenheit, eine Thätigkeitsäuſserung derjenigen Körper, bei denen wir jene wahrnehmen.

Am gebräuchlichsten ist diejenige Bedeutung des Worts Potenz, die in der Ueberschrift durch die gleichbedeutenden Bezeichnungen ausgedrückt wird. Schon Pappus[1] erwähnt fünf einfache mechanische Potenzen (*δυνάμεις*) oder Maschinen, die bei der gesammten praktischen Maschinenlehre zum Grunde liegen, indem man alle, auch die künstlichsten und am meisten zusammengesetzten Maschinen auf diese zurückbringen kann, nämlich der *Hebel*, die *Radwelle*, die *Scheibe*, die *Schraube* und der *Keil*. Wegen ihrer Wichtigkeit werden diese sämmtlich in eigenen Artikeln näher untersucht, woraus sich aber ergiebt, daſs sie nicht einfach sind, sondern sich aus zwei allerdings einfachen, dem Hebel und der geneigten Ebene, ableiten lassen, die deswegen auch in den neuern Zeiten als Fundamentalmaschinen gelten. Schon früher sah man ein, daſs die beiden letzten, die Schraube und der Keil, zur schiefen Ebene gehören, und einige Schriftsteller führten daher die letztere als eine sechste einfache Potenz ein. Varignon[2] setzte die *Seilmaschine* als sechste einfache Ma-

---

1 Collect. math. L. VIII.

2 Nouvelle mécanique ou statique. Par. 1725. 4.

schine zu den älteren hinzu. Diese besteht bloſs aus Seilen, an denen Kräfte nach verschiedenen Richtungen wirken, und ist zunächst bestimmt, die durch Simon Stevin [1] aufgestellten Sätze über zusammenwirkende Kräfte zu erläutern. Die bloſs zur Demonstration dienende sogenannte *Funicular-Maschine* kann also für keine einfache mechanische Fundamentalpotenz gelten, so oft auch die Theoreme über conspirirende Kräfte bei Seilen, durch welche Maschinentheile, z. B. Rammklötze, bewegt werden, in Anwendung kommen, worüber man eine treffliche theoretische Untersuchung bereits in Newton's Werken findet [2].

In der Physik pflegt man die mechanischen Grundsätze an kleinen Modellen der Fundamentalmaschinen zu erläutern, wie diese sich in den Werken von s'Gravesande, Desaguliers, Musschenbroek, Nollet u. a. abgebildet finden, wobei die geneigte Ebene mit hinzugerechnet wird, und wenn diese insgesammt in einem einzigen Modelle vereinigt sind, so nennt man dieses eine *Potenzenmaschine.*

M.

Presse.

Prelum; Presse; *Press.*

Jede Vorrichtung, die dazu bestimmt ist, Körper zusammenzudrücken, oder genauer jede Maschine, die so eingerichtet ist, daſs man Gegenstände damit stark und schnell zusammendrückt, heiſst Presse. Allerdings lassen sich die verschiedenen Substanzen einfach dadurch pressen, daſs man sie mit Lasten beschwert, auch giebt es verschiedene Werkzeuge, die bei ihrem Gebrauche eine bedeutende Pressung ausüben, z. B. Hämmer, Scheren, Zangen, Walzen u. s. w., allein sie gehören dennoch nicht zu den eigentlichen Pressen, weil die Zusammendrückung ihr unmittelbarer Zweck nicht ist.

Von den Pressen wird in der Oekonomie und Technik ein sehr mannigfaltiger Gebrauch gemacht, wovon sie dann ihre speciellen Benennungen erhalten. So giebt es Wein- und Oelpressen, Papierpressen, Zeugpressen, Siegelpressen, Buch-

---

1 Beghinselen der Weghkonst. Amst. 1596. 4.

2 Arithmetica univers. Lugd. Bat. 1732. 4. Probl. geom. 48 u. 49.

Digitized by Google

binder- und Buchdruckerpreſsen und viele andere, deren Construction ihrer Bestimmung angemessen eingerichtet wird. Eine ins Einzelne gehende Beschreibung hiervon zu geben würde hier nicht am rechten Orte seyn, und es genügt, nur im Allgemeinen zu bemerken, daſs der Zweck aller Pressen im Ganzen darin besteht, entweder das Volumen der Körper zu vermindern, womit zugleich die Erzeugung einer glatten und figurirten Oberfläche als absichtlich erstrebt oder zufällig entstehend verbunden ist, oder die in den gepreſsten Massen enthaltenen Flüssigkeiten herauszudrücken, weil man entweder diese letzteren benutzen oder die gepreſsten Körper davon befreien will.

A. Mechanische Pressen.

Die Pressen können zur leichtern Uebersicht in solche abgetheilt werden, die zur Mechanik fester Körper gehören, und in solche, bei denen die hydrostatischen und hydraulischen Gesetze zum Grunde liegen, bei allen aber ist die Construction von der Art, daſs durch einen gröſsern Aufwand von Zeit oder eine gröſsere Räume durchlaufende Bewegung eine verhältniſsmäſsig gröſsere Kraftäuſserung erzeugt wird. Bei den zur Mechanik fester Körper gehörenden Pressen werden daher die mechanischen Potenzen in Anwendung gebracht, und da es deren nur zwei fundamentale giebt, so lassen sich auch die sämmtlichen Pressen auf diese beiden zurückbringen, wie verschieden deren Construction und Bestimmung immer seyn mag. Die beiden mechanischen Potenzen sind der *Hebel* und die *geneigte Ebene*, von denen die erstere nur selten und bei keinen gewöhnlich üblichen Pressen in Anwendung kommt, weil man zur Hervorbringung eines starken Drucks eines langen Hebelarms bedarf, durch welchen jeder Apparat dieser Art unbequem wird, weswegen man sich bloſs auf dem Lande in Ermangelung besserer Vorrichtungen, z. B. zu den Obstpressen, eines langen Balkens als ungleicharmigen Hebels bedient.

Ungleich häufiger sind diejenigen Pressen, bei denen die geneigte Ebene in Anwendung kommt. Sie zerfallen dann wieder in zwei Classen, nämlich die *Keilpressen* und die *Schraubenpressen*. Bei den ersteren wird der pressende Klotz oder der ihn drückende Balken vermittelst eines Keils bewegt, letz-

Digitized by Google

terer aber durch die Schläge eines Hammers oder die Stöſse eines Balkens getrieben. Diese Keilpressen sind die einfachsten und wohlfeilsten, und da der Keil eine so auſserordentlich groſse Gewalt ausübt, so läſst sich auch ihre Wirksamkeit bis zu einer bedeutenden Höhe treiben; sie haben aber den Nachtheil, daſs es eine geraume Zeit erfordert, bis der Keil herausgenommen, eingesteckt und eingetrieben ist, und daſs die Schläge oder Stöſse, die ihn bewegen, zugleich sehr stark erschütternd auf die gesammte Maschine wirken. Die Construction dieser Pressen nimmt keine physikalischen Gesetze besonders in Anspruch, und da das mechanische Mittel, welches bei ihnen zum Grunde liegt, bereits[1] erläutert worden ist, die bewegende Kraft des *Stoſses* aber noch besonders untersucht werden muſs, so bedarf der Gegenstand hier keiner weitern Ausführung.

Es läſst sich mit ziemlicher Sicherheit annehmen, daſs die Keilpressen hauptsächlich nur zum Auspressen des Oels und des Obstsafts angewandt werden; ungleich häufiger dagegen ist der Gebrauch der Schraubenpressen, denn von dieser Art sind die *Siegelpressen*, die *Buchbinder-* und *Buchdrucker-Pressen*, die *Kelterpressen*, die *Papierpressen* und zahllose andere. Ihre Construction ist im Allgemeinen von der Art, daſs eine Schraubenspindel, deren Stärke der erforderlichen Gewalt angemessen ist, in einer gleichfalls hinlänglich starken Schraubenmutter um ihre Axe gedreht wird und dadurch den zu pressenden Gegenstand niederdrückt. Die Umdrehung der männlichen Schraube geschieht nur bei sogenannten Klemmschrauben, Brems-Schrauben, Zwingen u. dgl. vermittelst eines ränderirten Knopfs, eines flachen Schwanzes oder zweier flügelförmiger Lappen, in der Regel aber bedient man sich des Hebels, welcher aus einer, durch den dickeren Theil der Schraubenspindel gesteckten, an den Enden mit beiden Händen anzufassenden Stange, oder aus einem bloſs mit seinem einen Ende durchgesteckten längern oder kürzern Balken besteht, den man am anderen Ende entweder mit der Hand, oder vermittelst eines Seiles bewegt, welches zur Vermehrung der Kraft um einen gleichfalls durch Hebelarme gedrehten Baum gewunden wird. Solcher Vorrichtungen lassen sich aus den allgemeinen Grundsätzen der Mechanik eine Menge ent-

1 S. Art. *Keil.* Bd. V. S. 850.

nehmen, die keiner besonderen Beſchreibung bedürfen; dahin gehört auch die durch Hopkinson[1] vorgeschlagene und mit dem besondern Namen *Atholpresse* bezeichnete Construction. Bei dieser ist die verticale Hauptschraube unten mit einem gezahnten Rade versehn, welches durch eine Schraube ohne Ende herumgedreht wird. Daſs man hierdurch ohne einen langen Hebel und einen besondern Baum (den sogenannten *Tummelbaum*) zum Aufwinden des Seils zu bedürfen, also auf einen viel kleinern Raum beschränkt, eine auſserordentliche Kraftvermehrung erhalten könne, folgt von selbst, allein es ist zugleich auch nothwendig, daſs der Zeitaufwand in gleichem Grade vermehrt werde. Um daher die Umdrehungen der Schraube ohne Ende zu beschleunigen, versieht Hopkinson diese mit drei auf ihre Axe verticalen und zugleich schweren Hebelarmen in der (auſserwesentlichen) Gestalt von Mannsschenkeln, die haspelartig herumgeschleudert werden.

Vermittelst der Schraubenpressen kann man allerdings eine auſserordentliche Gewalt erzeugen und sie geben ohne Widerrede einen sehr groſsen Nutzeffect; insbesondere ist derjenige ganz ungewöhnlich, welchen Hopkinson durch seine Atholpresse erhalten zu haben vorgiebt, zugleich aber ist der Widerstand der Reibung bei ihnen ausnehmend groſs und bei denen, deren Schrauben nicht von selbst wieder zurückgehn, auf jeden Fall gröſser als ihre Kraftäuſserung. Unter allen Schrauben aber hat die ohne Ende die stärkste Reibung und dieses Hinderniſs ist daher bei der Atholpresse um so gröſser. Inzwischen läſst sich auch diese durch Anwendung langer Hebelarme überwinden. Ein Haupthinderniſs aber, weswegen sich die Gewalt der Schraubenpressen nicht über eine gewisse Grenze erhöhn läſst, liegt in dem Umstande, daſs die Schraubengänge eine bedeutende Dicke haben müssen, wenn sie dem Zerbrechen nicht ausgesetzt seyn sollen, wodurch aber das Verhältniſs dieser Dicke zum Umfange der Schraubenspindel, und somit also die Wirksamkeit der Schrauben, vermindert wird, wenn man jenen Umfang, und dadurch zugleich das Gewicht, namentlich der eisernen Schraubenspindeln, nicht übermäſsig vergröſsern will. Hierzu kommt endlich

1 Mech. Mag. Nr. 417. Daraus in Dingler's polytechn. Journ. Bd. XLII. S. 11.

der Umstand, daſs auch die Schraubenmuttern entweder unverhältniſsmäſsig dick seyn müssen, oder keine hinlängliche Sicherheit dagegen gewähren, daſs sie dem auſserordentlichen Drucke gegen ihre innern Wandungen nachgeben und zerrissen werden, wonach also die Schraubenpressen ungeachtet der ungeheuern Gewalt, deren Ausübung sie gestatten, dennoch in dieser Beziehung den hydraulischen Pressen nachstehn.

Das eigentliche wirksame Agens bei dieser bisher beschriebenen Art von Pressen ist die *Schraube*, und da deren Construction und die bei ihr in Anwendung kommenden mechanischen Gesetze in einem eignen Artikel abgehandelt werden, ebenso wie das bei ihrer Anwendung vorzüglich zu berücksichtigende Hinderniſs der *Reibung*, so kann ich hier auf diese Artikel füglich verweisen.

B. Hydromechanische Pressen.

Die ungleich neuern *hydromechanischen* Pressen haben in den letztern Zeiten die Aufmerksamkeit der Physiker bei weitem mehr in Anspruch genommen, als die schon den alten Mathematikern bekannten mechanischen. Es giebt deren zwei, bei denen eigentlich ein und dasselbe hydrostatische Gesetz zum Grunde liegt, die man aber dennoch meistens durch die Benennung der *hydrostatischen* und der *hydraulischen* bezeichnet oder auch nach ihren Erfindern, Real und Bramah, benennt.

1. Die *hydrostatische* Presse, auch Extractions- oder Auflösungs-Presse genannt, vom Grafen Real zunächst zur Bereitung eines concentrirten Caffee-Extracts erfunden, wurde in Deutschland im Jahre 1816 durch Döbereiner[1] aus einer von van Mons erhaltenen brieflichen Nachricht bekannt und erregte groſses Aufsehn. Das bei derselben zum Grunde liegende Princip ist sehr einfach und kein anderes als das bekannte hydrostatische Gesetz, daſs der Druck einer Flüssigkeitssäule dem Producte ihrer Basis in ihre lothrechte Höhe proportional ist. Ist daher in der langen Röhre AB irgend Fig.
eine Flüssigkeit vorhanden, so wird ein unterer Theil dersel- 126.
ben, z. B. ab, durch die oberhalb derselben befindliche Säule

1 Schweigger's Journ. Bd. XVI. S. 339.

mit einem ihrer lothrechten Höhe proportionalen Gewichte herabgedrückt. Es lag sehr nahe bei der Sache, hiermit sogleich die Anwendung des sogenannten Pascal'schen *hydrostatischen Paradoxons* [1] zu verbinden, wonach eine verhältniſsmäſsig geringe Menge Flüssigkeit in einer engen Röhre gegen eine gegebene Fläche mit gleicher Kraft wirkt, als eine ungleich gröſsere, in einem Cylinder oder einem umgekehrten abgekürzten Kegel befindliche. Diesen wichtigen hydrostatischen Satz, daſs der verticale Druck einer Flüssigkeit gegen eine horizontale Fläche dem Gewichte eines Cylinders dieser Flüssigkeit von der Basis dieser Fläche und der Höhe bis zum Spiegel dieser Flüssigkeit ohne Rücksicht auf den Kubikinhalt der hierbei wirksamen Masse gleich ist [2], welcher beim *anatomischen Heber*, dem *Tubus* von Volder und dem *Follis* von s'Gravesande in Anwendung kommt [3], beabsichtigte Pascal [4] durch einen in den physikalischen Cabinetten zur Demonstration unentbehrlichen Apparat theils zu erläutern, theils zu beweisen, dessen Construction unter den vielfachen Arten mir auf folgende Weise am zweckmäſsigsten einzurichten scheint.

Auf dem im verticalen Durchschnitte gezeichneten Fuſsbrete
Fig. 127. AB befindet sich die lothrechte Stange CD, welche in c das Hypomochlion des gleicharmigen Waagebalkens ab darbietet. An dem einen Arme desselben befindet sich die Waagschale p und über derselben die massive Messingkugel π, welche beide zusammengenommen der Scheibe $\alpha\beta$ das Gleichgewicht halten. Diese ist auf der fein auslaufenden Spitze λ so balancirt, daſs sie sich leicht um ihre verticale Axe drehn läſst und daſs eine nicht allzustarke Neigung gegen den Horizont auf den durch sie ausgeübten Druck nach oben keinen bedeutenden Einfluſs äuſsert. Vermittelst der in die Waagschale p gelegten Gewichte drückt dieselbe gegen die verschieden geformten Wasserbehälter, deren Gewicht nebst dem des enthaltenen Wassers durch die auf der Stange CD verschiebbaren Arme L getragen wird, so daſs die Scheibe bloſs dem lothrechten Drucke des darin befindlichen Wassers entgegenwirkt.

1 Rob. Boyle Paradoxa hydrostatica. In Opp. var. Genev. 1680. 4.
2 Vergl. Art. *Hydrostatik*. Bd. V. S. 578.
3 Vergl. Art. *Heber*. Bd. V. S. 173.
4 De l'Équilibre des liqueurs. Par. 1663. 12.

Digitized by Google

Werden dann nach einander die drei gleich hohen gläsernen Behälter vermittelst der beweglichen Arme so herabgedrückt, daſs ihre unteren, eben geschliffenen Ränder mit der oberen Fläche der Scheibe in Berührung kommen, und mit Wasser gefüllt, so zeigen die in die Waagschale p zur Ueberwindung ihres verticalen Drucks einzulegenden verschiednen Gewichte, daſs der Druck des Wassercylinders m m n n dem des abgekürzten Kegels m m m′m′ und daſs der des letztern, wenn er umgekehrt und in m′m′ m m verwandelt wird, dem des Wassercylinders n′ n′ m′ m′ gleich ist, daſs demnach ungleich groſse und schwere Wassermassen einen gleichen Druck ausüben können. Der Versuch läſst sich auch mit Quecksilber anstellen, wobei der Apparat sehr klein seyn kann und dennoch das groſse Gewicht der Flüssigkeit einen bedeutenden Unterschied zu erkennen giebt.

Bringt man das so eben erörterte hydrostatische Gesetz bei der Real'schen Presse in Anwendung, so wird das ganze Problem nicht bloſs erleichtert, sondern im eigentlichen Sinne erst zum nützlichen Gebrauche geeignet. Hiernach verwandelt sich nämlich der Apparat in einen willkürlich groſsen Cylinder A mit dem langen Rohre a b, an dessen oberem Ende Fig. 128. sich ein Trichter m zum Eingieſsen der Flüssigkeit befindet, und es wird dann die im untern Cylinder befindliche Substanz, die etwa den Raum $\alpha\alpha$, $\beta\beta$ einnimmt, durch die geringe Menge der in der Röhre a b enthaltenen Flüssigkeit einen gleichen Druck erleiden, als welcher durch einen Cylinder derselben von der Grundfläche $\beta\beta$ und der Höhe des im engen Rohre enthaltenen ausgeübt werden würde. Hiermit ist also das erste und eigentliche Princip der hydrostatischen Presse gegeben, nämlich der nach Umständen beliebig zu vermehrende hydrostatische Druck. Man glaubte anfangs, daſs diese Vermehrung für die praktische Anwendung der Extractionspresse von wesentlichem Einflusse sey, weswegen unter andern auch Döbereiner die Hauptsache der Wirkung auf diesen zurückführen wollte und diesemnach also Quecksilber als drückende Flüssigkeit in Vorschlag brachte; allein letzteres würde ohne anderweitige künstliche Vorrichtungen unter die Extractionsflüssigkeit herabsinken und dadurch die beabsichtigte Wirkung aufheben. Man hat sich späterhin überzeugt, daſs es eines so auſserordentlichen Drucks gar nicht bedarf

und derselbe bloſs hinreichend seyn muſs, um die im untern Cylinder befindliche, mit den zu extrahirenden Stoffen gesättigte Flüssigkeit herabzudrücken.

Das zweite Princip, welches bei der Extractionspresse in Betrachtung kommt, ist gleich anfangs von Döbereiner richtig aufgefaſst worden. Man bereitete nämlich bis dahin die Extracte auf die früher gewöhnliche Weise durch Aufgieſsen der extrahirenden Flüssigkeiten auf die mehr oder minder verkleinerten Stoffe, deren auflösliche Substanzen von den Flüssigkeiten aufgenommen und mit diesen verbunden nachher abgegossen wurden. Es ist aber augenfällig, daſs bei diesem Verfahren eine nicht unbedeutende Menge der zu extrahirenden Substanzen in jenen locker zusammengehäuften Stoffen zurückbleiben muſs, selbst wenn man mechanischen Druck anwendet, weil eben durch diesen die äuſseren, mehr zusammengeballten Lagen eine minder leicht durchdringliche Hülle bilden. Döbereiner[1] zeigt dagegen, daſs die zu extrahirenden Substanzen sich inniger mit den auflösenden Flüssigkeiten verbinden, wenn diese nach und nach in steigender Menge zugesetzt werden, woraus namentlich mit Wasser mehr und minder dickflüssige Hydrate entstehn. Es müssen daher die Extracte zuvor in den gehörig zerkleinerten Substanzen durch allmäliges Zulassen der auflösenden Flüssigkeiten gebildet und dann ohne ein gleichzeitig stattfindendes Zusammenballen jener durch den mechanischen Druck der nachflieſsenden Flüssigkeit getrennt werden. Döbereiner sagt dann weiter: „Erwägt man aber, daſs die mit auflöslichen Substanzen ge„schwängerte Flüssigkeit specifisch schwerer ist, als dieselbe „in ihrem reinen Zustande, und daſs sie vermöge dieser grö„ſseren Schwere aufhört, der Capillarität der festen Substan„zen zu unterliegen, wenn dieselbe anderweitig befriedigt „wird, z. B. dadurch, daſs man auf ihr Resultat oder Product „eine Flüssigkeit von minderer Dichte drückend wirken läſst[2],

1 G. LX. 14.

2 Dickflüssige Extracte zeigen in der Regel eine stärkere Capillaranziehung, als die extrahirenden Flüssigkeiten, allein dieses kommt hier bei stattfindendem mechanischen Drucke wenig in Betrachtung und auſserdem fehlen uns hierüber hinlänglich genaue Versuche.

„so sieht man ein, daſs eine vollkommene Trennung der flüs-„sigen Verbindung von fester unauflöslicher Substanz und so-„mit eine erschöpfende Extraction nur dann möglich ist, wenn „mit mechanischem Drucke die Vernichtung der Capillaritäts-„äuſserung der letzten gegen die erste auf die angezeigte Art „bedingt wird."

Von diesen richtigen Grundsätzen ging auch Geiger[1] aus, welcher durch seine Anleitung zum praktischen Gebrauche dieses Apparats bei der officinellen Bereitung von Extracten am meisten zur Verbreitung desselben beigetragen hat. Die einzelnen Anweisungen desselben, auf welche Weise solche Extracte aus verschiednen Substanzen am zweckmäſsigsten bereitet werden, kann ich, als zunächst in das Gebiet der Pharmacie gehörig, hier übergehn. Aus der Ansicht der Sache, wie sie beiden genannten Gelehrten eigenthümlich ist, ergiebt sich dann auch die verschiedentlich zu modificirende Construction solcher Pressen, unter denen ich für diese einfachen Arten folgende als Muster aller übrigen mittheile, die nach Zweck und Umständen vielfach abgeändert werden kann. Man nimmt einen Cylinder A von Zinn, Glas oder Porcellan, wel- Fig. 129.
cher am untern Ende mit einem hervorstehenden Rande oder Wulste versehn ist, um das etwas vertiefte Gefäſs CC bequem daran zu befestigen oder abzunehmen, aus dessen Röhre b die ausgepreſsten Extracte auf einen kleinern Raum vereinigt ablaufen können, ohne umherzuspritzen und in einem zu groſsen untergestellten Gefäſse der freien Luft eine ausgedehnte Oberfläche darzubieten. Ist der Cylinder von Zinn, so kann dieses Bodenstück auch aufgeschraubt werden und gewährt auf jeden Fall den Vortheil, daſs, ohne eigentlich fest zu schlieſsen, dennoch die Ablaufröhre b in die Oeffnung einer untergesetzten Flasche herabgehn kann, um die darin aufgefangnen Flüssigkeiten, namentlich die aromatischen, gegen Verdunstung und überhaupt gegen den freien Zutritt der Luft genügend zu schützen. Auch an der innern Seite hat der Cylinder A drei Hervorragungen, auf denen die mit feinen Löchern durchbohrte Bodenplatte $\gamma\gamma$ ruhn kann, die jedoch mit drei Einschnitten versehn seyn muſs, um gehörig gedreht her-

1 Beschreibung der Real'schen Auflösungspresse und Anleitung zum einfachen Gebrauche derselben u. s. w. Heidelb. 1817. 8.

ausgenommen und wieder eingelegt zu werden, zu welchem Ende sie mit dem zum Anfaſsen dienenden Knopfe *v* versehn ist. Ihr gegenüber befindet sich die ähnliche Platte *δδ* mit ihrem Knopfe w, welche entweder so viel kleiner oder gleichfalls mit Einschnitten versehn seyn muſs, um neben den untern Hervorragungen vorbeizugehn, wenn man den ganzen Apparat nach dem Gebrauche zum Reinigen auseinander nehmen will. Daſs auch diese obere Platte mit vielen feinen Löchern versehn seyn müsse, folgt von selbst. Oben ist der Cylinder mit einem dicht schlieſsenden Deckel versehn, in dessen Mitte sich die Tülle a befindet, um die mit einem Korke versehene Röhre hinlänglich fest einzustecken. Letztere wird dicht über ihrem eingesteckten Ende sehr zweckmäſsig mit einem Hahne c versehn, um den Zutritt der extrahirenden Flüssigkeit beliebig abzustellen oder frei zu lassen. Die nur höchstens einen halben Zoll im Durchmesser haltende Röhre d d hat oben eine kleine trichterartige Erweiterung, vermittelst deren sie im Ringe e hängt, doch so, daſs man sie bequem etwas in die Höhe heben und wieder herablassen kann. Durch den Trichter kann die extrahirende Flüssigkeit nachgegossen werden; will man aber Extracte in gröſserer Menge bereiten, so ist es zweckmäſsig, den gläsernen Heber h anzubringen, von dessen Schenkeln der eine in die Röhre d, der andere in ein nebenstehendes groſses Gefäſs B herabgeht, aus welchem die Flüssigkeit nachflieſst, sobald das Niveau derselben in der Röhre unter das im Gefäſse herabgeht. Der ganze Apparat endlich ruht auf einem Schemel g g, in dessen Mitte sich eine hierzu geeignete Oeffnung befindet und zwischen dessen Füſse das zur Aufnahme des Extracts bestimmte Gefäſs gestellt werden kann.

Will man den Apparat, den ich als auf die angegebene Weise zusammengesetzt betrachte, gebrauchen, so zieht man den Kork a aus dem Deckel oder das Ende des Rohrs aus dem Korke, hebt das Rohr in die Höhe, um den Cylinder vom Schemel wegzunehmen, und läſst es dann wieder im Ringe herabhängen, wobei es immerhin noch mit der Flüssigkeit, in der Regel mit Wasser, gefüllt seyn kann, wenn der Hahn c verschlossen ist. Der Cylinder A wird dann umgekehrt, sein unterer Theil CC abgenommen und die Bodenplatte herausgehoben. Demnächst füllt man den Raum zwischen

beiden durchlöcherten Platten mit der hinlänglich verkleinerten Substanz, aus welcher der Extract bereitet werden soll, wobei es vortheilhaft ist, diese mäſsig, aber etwas, feſt zu drücken, auf jeden Fall aber dafür zu sorgen, daſs die zum Extrahiren bestimmte Flüssigkeit nicht am Rande des Cylinders herablaufe, sondern sich überall gleichmäſsig in der zu extrahirenden Substanz verbreite, zu welchem Ende der obere Deckel δδ nach der Mitte hin etwas vertieft seyn kann. Wird der Cylinder von der zu extrahirenden Substanz nicht ganz voll, so kann man den obern Deckel nach dem Umkehren des Apparats von oben herab durch die Oeffnung bei a vermittelst eines Stabs niederdrücken, wenn er stark genug ist, um dieses auszuhalten. Ist der Apparat dann wieder hergestellt, so beruht die Hauptsache darauf, nach dem Oeffnen des Hahns c zuerst nur etwas von der Flüssigkeit in den Cylinder flieſsen zu lassen und die erforderliche Zeit abzuwarten, bis diese sich überall durch die Substanz verbreitet hat, dann in gehörigen Zwischenräumen mehr Flüssigkeit zuzulassen, damit diese sich mit dem Extractstoffe hinlänglich sättige, und erst, nachdem dieses geschehn ist, das eigentliche Auspressen durch das nachdringende Wasser zu bewerkstelligen. Der Effect beruht dann im Wesentlichn darauf, daſs die zuerst zugelassene und allmälig vermehrte Flüssigkeit mit den zu extrahirenden Substanzen vollständig gesättigt werde, indem sie soviel davon auflöst, als sich damit verbinden will, und daſs demnächst der möglichst concentrirte Extract, ohne in den zusammengeballten unauflöslichen Theilen ein Hinderniſs zu finden, durch die herabdrückende Flüssigkeit ausgeschieden und zum Ablaufe vermocht werde. Hat man diesen ersten, oft bis zur Syrupsdicke concentrirten Extract erhalten, so kann man abermals das nachgedrungene Wasser oder die sonstige benutzte Flüssigkeit mit der bereits extrahirten Masse eine Zeitlang in Verbindung lassen, und erhält dann einen minder concentrirten Extract, bis die Substanz gänzlich extrahirt ist und die Flüssigkeit rein abflieſst.

Solche oder auf ähnliche Weise einfach construirte Apparate wurden sogleich nach Bekanntwerdung des Problems sehr allgemein in den Officinen eingeführt, in den chemischen Laboratorien gebraucht und auf sonstige vielfache Weise in Anwendung gebracht. Aus der mitgetheilten Darstellung der

eigentlichen Art der Wirksamkeit dieser Maschinen ergiebt sich überzeugend, daſs die Höhe der drückenden Wassersäule zwischen zwei veränderlichen Extremen liegen muſs; sie darf nämlich nicht zu klein seyn, weil sonst das Herabgedrücktwerden des Extracts nicht bloſs zu langsam, sondern überall nicht regelmäſsig erfolgen und derselbe vielmehr an einer oder an einigen Stellen herabträufeln würde, wo der geringste Widerstand statt fände. Auf der andern Seite darf sie aber nicht zu groſs seyn, nicht sowohl wegen der erforderlichen gröſsern Stärke der einzelnen Theile des Apparats, als vielmehr wegen der Unbequemlichkeit, welche mit der zunehmenden Höhe der Röhre gleichmäſsig oder sogar in einem gröſsern Verhältnisse wächst, insbesondere aber, weil bei einem zu starken hydrostatischen Drucke leicht ein nur partielles, an den Stellen des geringsten Widerstandes statt findendes schnelles Herabflieſsen eintreten könnte, ohne daſs die gleichmäſsig bewegte Auflösung im ganzen Cylinder den gesammten Extract vollständig lieferte. Der letztere Nachtheil findet zwar nur selten statt, da die Höhe der Röhre nicht leicht übermäſsig groſs seyn kann und die Geschwindigkeit des Herabflieſsens der enthaltenen Flüssigkeit durch den verhältniſsmäſsig so viel weitern Cylinder bedeutend vermindert wird, allein die Erfahrung hat dennoch hinlänglich bewiesen, daſs eine mittlere Höhe der Röhre von etwa 8 par. Fuſs, wie sie auch ohngefähr von Geiger angegeben wurde, vollständig genügt.

Inzwischen legte man bald einen zu hohen Werth auf die Stärke des hydrostatischen Drucks, indem man theoretisch voraussetzen zu dürfen glaubte, was auch die Erfahrung bestätigt haben sollte, daſs die Extracte durch denselben im Allgemeinen concentrirter und aus einigen Substanzen überhaupt nur dadurch erhalten würden. Auſserdem hat die Anbringung eines auch nur 8 Fuſs langen Rohrs, das Einfüllen des Wassers in den Trichter desselben und das Befestigen eines Gefäſses mit der erforderlichen Flüssigkeit in dieser Höhe allerdings manche Schwierigkeiten, und man war daher darauf bedacht, diese Apparate bequemer und zugleich für einen stärkern hydrostatischen Druck einzurichten, womit dann zugleich die Absicht verbunden wurde, die Flüssigkeit heiſs mit der zu extrahirenden Substanz in Verbindung zu bringen, was bei Anwendung eines langen Rohrs schwierig oder ganz un-

Digitized by Google

möglich ist. Die Lösung beider Probleme veranlaſste eine Menge Constructionen, die jedoch insgesammt auf folgende Principien zurückkommen.

1. *Anwendung des Luftdrucks.* Der Druck der atmosphärischen Luft gleicht bekanntlich dem einer Wassersäule von fast 32 par. Fuſs Höhe; wird daher die Luft unter dem Cylinder der Extractionspresse theilweise oder ganz weggenommen, so findet gegen die Oberfläche der in ihm enthaltenen Substanzen ein Druck statt, welcher von der kleinsten Höhe einer Wassersäule bis zu 32 par. F. gesteigert werden kann. Zu diesem Ende wird der Cylinder oder das Gefäſs A, welches Fig. gleichfalls die beiden durchlöcherten Platten $\gamma\gamma$ und $\delta\delta$ hat, 130. vermittelst des Hahns c unten verschlossen, ehe man den Inhalt desselben mit der zerkleinerten Substanz anfüllt und von der extrahirenden Flüssigkeit die erforderliche Menge auf die obere Platte $\delta\delta$ gieſst, damit sie sich allmälig im ganzen Raume des Gefäſses verbreiten und mit den zu extrahirenden Stoffen sättigen könne. Ist Letzteres geschehn, sey es mit kalter oder heiſser Flüssigkeit, wobei man leicht die obere Oeffnung zur Verhütung des Entweichens der aromatischen Stoffe mit einem zwar genau, aber nicht luftdicht schlieſsenden Deckel verschlieſsen kann, so wird das untere Gefäſs B nach Verschlieſsung des Hahns d vermittelst der Luftpumpe G, deren Construction dem beabsichtigten Zwecke angemessen eingerichtet werden kann, bis zu dem erforderlichen Grade luftleer gemacht, so daſs nach dem Oeffnen des Hahns c die im Gefäſse A befindlichen Extracte durch die über $\delta\delta$ ruhende Luftsäule in das Gefäſs B herabgepreſst werden, Hierbei ergeben die vorwaltenden Bedingungen, ob bloſs die anfänglich aufgegossene, mit den zu extrahirenden Stoffen gesättigte Flüssigkeit herablaufen soll, oder ob man es besser findet, schon während dieser Zeit noch einen neuen Theil der Flüssigkeit nachzugieſsen; auch kann das Exantliren während des Herabflieſsens oder vorher geschehn, wenn nur dafür gesorgt ist, daſs der Extract nicht in die Luftpumpe gerathen kann. Am geeignetsten dürfte es in der Regel seyn, zuerst den stärksten Extract durchzupressen, diesen nach dem Oeffnen des Hahns d in ein untergesetztes Gefäſs abflieſsen zu lassen, alsdann beide Hahne wieder zu verschlieſsen, abermals Flüssigkeit aufzugieſsen und auf die nämliche Weise einen zweiten

schwächern Extract zu bereiten, welches Verfahren mehrmals und selbst mit abwechselnder Anwendung verschiedener und ungleich warmer Flüssigkeiten wiederholt werden kann.

Unter den verschiedenen Constructionen der Extractionspressen scheint mir die eben beschriebene, die man auch *Luftpresse* genannt hat, den vorzüglichsten Platz einzunehmen. Sie gewährt den Vortheil, daſs man die Flüssigkeit kalt und warm, selbst bis nahe zur Siedehitze erwärmt, anwenden kann, deren Menge noch auſserdem nach Umständen bestimmbar ist; auch behält der herabgedrückte Extract stets eine waagerechte Oberfläche, statt daſs die ihn herabdrückende Flüssigkeit sich sonst leicht einen Weg seitwärts bahnt und den Extract zu sehr verdünnt. Auſserdem nimmt die Maschine wenig Raum ein, ist bequem zu behandeln, läſst sich auf einem Tische leicht hinstellen oder festschrauben und bedarf keines hochstehenden Gefäſses für die extrahirende Flüssigkeit. Gegen alles dieses muſs der allerdings bedeutend höhere Preis abgewogen werden.

2. Auf gleiche Weise, als der einfache Luftdruck gegen den luftleeren Raum wirkt, äuſsert sich der doppelte gegen den einfachen atmosphärischen, und anstatt daher unter dem Cylinder der Extractionsmaschine einen luftleeren Raum zu erzeugen, darf man nur durch Compression die Luft über demselben zur doppelten Dichtigkeit bringen, die man noch obendrein willkürlich vermehren könnte, wenn die Güte des Extracts von der Stärke dieses Drucks abhängig wäre. Die Construction solcher Maschinen läſst sich auf mannigfaltige Weise abändern, das allgemeine Princip derselben wird aus folgender Einrichtung erkannt. Der zur Aufnahme der zu extrahi-
Fig. 131. renden Stoffe bestimmte Cylinder A, welcher überall luftdicht verschlossen seyn muſs, hat unten einen Hahn d, durch dessen Verschlieſsen das zu frühzeitige Abflieſsen des noch nicht hinlänglich gesättigten Extracts verhindert wird. Ueber demselben befindet sich die verticale Compressionspumpe B, deren Stellung nicht nothwendig die verticale seyn muſs, auch kann sie ebenso gut vermittelst eines Hebels oder einer gezahnten Stange bewegt werden, als vermittelst einer bloſsen Handhabe, wie die Zeichnung angiebt; auf gleiche Weise ist der Hahn c nicht unumgänglich nothwendig, indem statt dessen ein Blasenventil gleichfalls genügt. Es braucht kaum er-

wähnt zu werden, daſs man beim Gebrauche den obern Deckel abſchraubt, die zu extrahirenden Subſtanzen einbringt und mit der erforderlichen Menge der anzuwendenden Flüſsigkeit hinlänglich benetzt, letztere gehörig geſättigt werden läſst und dann nach aufgeſchraubtem Deckel und begonnener Compreſsion der Luft den Extract aus der untern Röhre nach geöffnetem Hahne d abflieſsen macht.

Wäre es erwieſen oder erweisbar, daſs die Menge und die Güte der Extracte oder die Leichtigkeit und Schnelligkeit ihrer Bereitung durch die Stärke des angewandten Drucks bedingt würden, ſo könnten die zuletzt beſchriebnen Maſchinen den erſtern, den ſogenannten Luftpreſsen, nahe kommen und ſie bei hoher Bedeutſamkeit der angegebnen Bedingungen ſogar noch übertreffen; allein es iſt nach Gründen der Theorie und Erfahrung durchaus unnöthig, nur einmal einen Druck anzuwenden, welcher dem der atmoſphäriſchen Luft gleich kommt, vielweniger aber bedarf es eines ſtärkern, und hiernach ſind allerdings diejenigen Maſchinen verwerflich, die mehrfache Unbequemlichkeiten durch den eingebildeten Vorzug aufwiegen ſollen, daſs man Luft von der Dichtigkeit mehrerer Atmoſphären bei ihnen in Anwendung bringen kann. Die hierbei ſtatt findenden Mängel der Conſtruction ſind übrigens ſehr augenfällig. Zuerſt iſt es nämlich nicht bloſs unbequem, ſondern ſogar bedeutend ſchwierig, den obern Deckel des Cylinders, welcher doch nicht ſehr klein ſeyn darf, beweglich und zugleich luftdicht ſchlieſsend zu machen, und dieſem Uebelſtande würde auch nicht begegnet, wenn man dieſes bei dem untern bewerkſtelligen wollte. Zweitens aber liegt ein groſser Mangel darin, daſs man nach verſchloſsenem Cylinder keine neue Flüſsigkeit zugieſsen kann, bevor nicht der Apparat wieder zerlegt iſt, wodurch eine Hauptbedingung dieſer Preſsen unerfüllt bleibt.

3. Ein bekannter Grundſatz der Hydroſtatik iſt, daſs der Druck einer Waſſerſäule durch jeden andern gleich ſtarken mechaniſchen Druck erſetzt werden kann. Läſst man daher gegen den untern Theil eines Waſſercylinders einen Embolus mit gleicher Kraft drücken, als das Gewicht der anzuwendenden Waſſerſäule beträgt, ſo wird der Effect der nämliche ſeyn. Auch dieſen Grundſatz hat man bei der Conſtruction der Extractionspreſse in Anwendung gebracht und dieſe daher auf

Digitized by Google

folgende Weise der Hauptsache nach eingerichtet. Der unten
Fig. gewölbte, mit einem durch den Hahn d verschlieſsbaren Aus-
132. fluſsrohre versehne Cylinder A hat oben einen ausgebognen Rand, auf welchen eine massive und hinlänglich starke Deckelplatte mit zwischenliegendem gefetteten Hanfe vermittelst einiger Klemmschrauben luft- und wasserdicht befestigt wird. Mitten im Deckel befindet sich eine kleine Compressionspumpe g, deren Kolben zwar, wie oben angegeben wurde, mit einer Handhabe oder mit einer gezahnten Stange auf und ab bewegt werden könnte, hier aber vermittelst des Hebelarms hp beweglich dargestellt ist. Das Bogenstück $\nu\omega$ dient dazu, die verticale Bewegung der Stange zu erhalten, auch wird das Gefäſs A am besten in einer Oeffnung des auf drei Füſsen ruhenden Brets ef befestigt, auf welchem die verticale Stange gh aufgerichtet ist, deren oberes Ende zum Unterstützungspuncte des Hebelarms hp dient. Im untern Theile der kleinen Pumpe g befindet sich ein Kegelventil α, welches durch eine Spiralfeder angedrückt wird, oder ein Blasenventil, wozu sich Pergament am besten zu eignen scheint, und ein zweites Ventil der einen oder der andern Art ist in dem Seitenstücke β angebracht, welches ein kleines Röhrchen zum Aufstecken des krummen Rohrs n hat, dessen Bestimmung ist, von der zu extrahirenden Flüssigkeit die erforderliche Quantität aufzusaugen und in die Presse zu führen. Wird nämlich der Embolus gehoben, so öffnet sich das im Stücke β befindliche Ventil, es schlieſst sich dagegen das im untern Ende der Pumpe befindliche α und die Pumpe wird mit der Flüssigkeit gefüllt, die beim Niederdrücken des Embolus nach der Oeffnung des untersten Ventils α und der Schlieſsung des in β befindlichen in das Gefäſs A gepreſst wird.

Diese Pressen haben den Vorzug der Bequemlichkeit und nehmen einen geringen Raum ein, sie sichern gegen die Verdunstung des Aroma's durch gehinderten Zutritt der äuſsern Luft und gewähren ein günstiges Mittel, stets neue Flüssigkeit zuzuführen, die sowohl kalt als auch warm seyn kann, jedoch werden Kegelventile erfordert, wenn man bis zur Siedehitze steigen will. Wäre der stärkere Druck von bedeutendem Einflusse, so leisteten sie in dieser Hinsicht am meisten, denn die Flüssigkeit kann vermittelst derselben bis zu vielen Atmosphären comprimirt werden; es ist jedoch bereits gezeigt

Digitized by Google

worden, daſs hiervon keine besondern Leistungen zu erwarten sind, wie mir eigene Erfahrungen zeigten, die ich mit einer solchen Maschine angestellt habe, bei welcher der Druck bis zu dem von 15 Atmosphären gesteigert werden konnte. Dagegen stehn sie den unter Nr. 1. beschriebenen Luftpressen darin nach, daſs man nicht füglich den zuerst gebildeten concentrirten Extract für sich erhalten kann, jedoch wäre auch dieses möglich, wenn man die Compressionspumpe und die Ventile so einrichtete, daſs sie nicht bloſs zur Compression der tropfbaren Flüssigkeiten, sondern auch der Luft dienen könnten, was allerdings schwierig, aber für einen geübten Künstler keineswegs unausführbar ist. In diesem Falle müſste die zu extrahirende Substanz zuerst gehörig durchnäſst, demnächst noch mehr Flüssigkeit eingepumpt und dann der gebildete Extract durch die comprimirte Luft ausgepreſst werden, worauf der nämliche Proceſs zur Gewinnung eines schwächern Extracts wiederholt werden könnte.

Da die Grundsätze, worauf die Construction dieser Maschinen beruht, so einfach sind und man von ihnen einen so vielfältigen Gebrauch macht, so war es natürlich, daſs eine Menge Vorschläge ihrer verschiedenen Bauart gemacht wurden, die ich jedoch einzeln zu beschreiben für überflüssig erachte, weil ein jeder aus den mitgetheilten Elementen alles für individuelle Zwecke Erforderliche entnehmen kann. Es verdienen auſser der durch Geiger beschriebnen hydrostatischen Presse besonders genannt zu werden die durch Theodor Lüders[1] ausgeführte Luftpresse, desgleichen die vielfachen verschiednen Einrichtungen, welche Romershausen[2] diesem Apparate gegeben hat, die er zugleich nicht bloſs beschrieb, sondern auch ausführen lieſs und als Gegenstände eines Handelsartikels unter den verschiednen Bezeichnungen von *Luftpressen*, *Dampfpressen* und *hydromechanischen Extractpressen* benutzte. Unter die interessantesten Vorrichtungen dieser Art gehört diejenige, welche Döbereiner unter dem Namen der *mikrochemischen Extractionspresse* bekannt gemacht hat. Sie besteht

1 G. LXIII. 416.

2 Romershausen's Luftpresse, eine in den Kön. Preuss. Staaten patentirte Maschine. 1. Hft. Zerbst 1818. 8. Vergl. Schweigg. Journ. XXXIV. 106. Dingler's polytechnisches Journal X. 415. G. LXXVII. 291.

aus der kleinen, nur etwa gegen zwei Kubikzolle haltenden Fig. 133. Phiole A und der etwa 3 Lin. weiten, 4 Z. langen Glasröhre B, welche letztere mit dem zu extrahirenden Pulver so weit, als nöthig ist, angefüllt wird, worauf man dieses von der auflösenden Flüssigkeit durchdrungen werden läſst. Hat die letztere die auflöslichen Substanzen zur Genüge in sich aufgenommen, so gieſst man einige Tropfen Wasser oder Weingeist in die Phiole A, verwandelt diese über einer Weingeistlampe oder über Kohlen in Dampf und steckt dann die Röhre B vermittelst des in beide Oeffnungen passenden Korkstöpsels c darauf. Der Korkstöpsel hat eine mitten durch ihn geschobne kleine Glasröhre, welche oben mit einem Läppchen von Musselin bedeckt ist. Wird dann durch Abkühlung der Dämpfe in A ein Vacuum erzeugt, so kann die Luft nur durch die Röhre B und das kleine Röhrchen im Korke c eindringen, wobei sie aber den Extract vor sich her in die Phiole drückt. Man kann nach dieser ersten Operation abermals Flüssigkeit nachgieſsen und wie bei der Luftpresse die Extractbereitung wiederholen [1].

Nachdem die verschiedensten Arten von Extractionspressen bereits sehr allgemein in Anwendung gebracht waren, trat G. F. Parrot [2] als Gegner derselben auf und gründete seine Argumente auf eine sehr schätzbare Reihe vergleichbarer Versuche. Zuerst lieſs er nach der unter Nr. 2. beschriebnen Art eine Extractionspresse mit Compression, die bis zum achtfachen atmosphärischen Drucke gesteigert werden konnte, verfertigen, bediente sich dieser und zugleich einer nach Romershausen's Angabe gemachten, bereitete mit beiden Extracte, wobei die Compression bis zum vierfachen atmosphärischen Drucke, die Verdünnung aber bis zur Hälfte der atmosphärischen Dichtigkeit getrieben wurde, bereitete auſserdem aus gleichen Substanzen andre Extracte durch bloſse Infusion und verglich beide Arten nach ihrem specifischen Gewichte. Hieraus erhielt er folgende Resultate: a) die Verstärkung des Drucks trägt zur stärkern Sättigung der extrahirenden Flüssigkeiten gar nichts bei; b) bei mittlerer Temperatur erhält man durch das Abwarten von einigen Stunden die Ex-

1 Vergl. Allg. Nord. Ann. Th. I. S. 482.
2 G. LXXV. 423.

tracte ebenſo ſtark und oft noch ſtärker, als durch die Extractionspreſſen. Es folgt ſonach, daſs die Extractionspreſſen, ſowohl die durch Compreſſion als auch die durch Dilatation der Luft wirkenden, ganz unnütze und in einigen Fällen ſogar ſchädliche Werkzeuge ſind, indem ſie den Pharmaceuten veranlaſſen, die durch ſie erhaltnen Extracte für ſtärker als die gewöhnlich bereiteten zu halten. Parrot ſetzt hinzu, daſs dieſes Reſultat auch aus theoretiſchen Gründen folge und aus dieſen auch ſchon im Voraus abzuleiten geweſen wäre, weil die Bildung der Extracte auf der Kraft der Adhäſion beruhe, welche die Verbindung der aufzulöſenden Subſtanzen mit der Flüſſigkeit bedinge und ſich im Allgemeinen ungleich ſtärker in ihren Wirkungen zeige, als jede mechaniſche Gewalt. Dieſes iſt vollkommen richtig, und darin eben liegt die Urſache, warum die Stärke der Compreſſion von keinem oder auf jeden Fall einem ihrer Gröſse keineswegs proportionalen, im Ganzen höchſt geringfügigen Einfluſſe iſt.

Gegen dieſe Einwürfe erklärte ſich vorzüglich nur Romershausen [1], und zwar aus folgenden Gründen. Es ſoll nach ihm zweierlei Arten von Extracten geben, nämlich ſolche, zu deren Beſtandtheilen hauptſächlich aromatiſche Subſtanzen gehören, die er *flüchtige* nennt, und ſolche, in denen ſich jene nicht finden, die daher *todte* heiſsen. Bei ihrer Bereitung muſs man allgemein die zu extrahirenden Subſtanzen zuerſt gehörig zerkleinern, und dann iſt es von gröſster Wichtigkeit, genau die erforderliche Menge der extrahirenden Flüſſigkeit zuzuſetzen, welche gerade hinreicht, ſie durchaus feucht zu machen, ſo daſs ſie ſich zuſammenballen laſſen. Bei dieſer Befeuchtung findet Wärmeentbindung ſtatt, die Romershausen aus einer chemiſch-elektriſchen Gegenwirkung ableitet, die aber nach den neuern Erfahrungen von Pouillet eine bloſse Folge der Adhäſion iſt und auf die Güte der Extracte ſicher keinen Einfluſs äuſsert. Bei der Bereitung der flüchtigen Extracte iſt es dann von groſser Wichtigkeit, daſs dieſe ſchnell dargeſtellt und dem Einfluſſe der Luft entzogen werden. Bedarf man zugleich der Wärme, ſo empfiehlt ſich hierfür am meiſten die Dampfpreſſe. Die todten Extracte erfordern weit weniger Sorgfalt, allein da man ſie

1 G. LXXVII. 291. Kaſtner Archiv. II. S. 369.

Digitized by Google

mitunter erſt digeriren, dann auspreſſen und endlich filtriren muſs und manche nicht längere Zeit mit der Luft in Berührung bleiben dürfen, ſo leiſtet die Preſſe, hauptſächlich die hydromechaniſche, alles Erforderliche in der kürzeſten Zeit und erfordert in vielen Fällen noch obendrein weniger Flüſſigkeit zur vollſtändigen Extraction.

Bei einer Prüfung der hier mitgetheilten, einander entgegenſtehenden Gründe lieſse ſich allerdings ſagen, daſs auch bei einer bloſsen Durchfiltrirung der auflöſenden Flüſſigkeiten durch die befeuchteten Subſtanzen das Aroma mittelſt eines hinlänglich ſchlieſsenden Deckels zurückgehalten, der Zutritt der Luft abgehalten und die ganze Operation füglich mit heiſser Flüſſigkeit, wie bei der gewöhnlichen Caffeebereitung, bewerkſtelligt werden könne. Dieſes Argument iſt allerdings von groſser Wichtigkeit, und es ſcheint hiernach die definitive Entſcheidung der Streitfrage von der Nachweiſung eines Unterſchieds in der Güte der auf beide Arten erhaltenen Extracte abzuhängen. In dieſer Beziehung verwirft Romershausen das von Parrot angewandte Prüfungsmittel, nämlich das Araeometer, gänzlich, und es iſt mir nicht bekannt, daſs ſpäter ein anderes, vollkommen ſicheres, in Vorſchlag gebracht worden ſey; inzwiſchen haben geübte und zugleich unbefangene Pharmaceuten ſowohl als auch Chemiker die Anwendung der Extractionspreſſe in vielen Fällen beibehalten, was allerdings für den Nutzen derſelben entſcheidet. Hauptſächlich beruht dieſer wohl auf dem bereits erwähnten Umſtande, daſs die mit den zu extrahirenden Stoffen geſättigte Flüſſigkeit (oder der erſte concentrirteſte Extract) durch die über ihr comprimirte Flüſſigkeit beſſer und ſchneller herabgedrückt wird, als dieſes auf irgend eine andere Weiſe möglich iſt, denn ich habe ſelbſt nicht ſelten die Beobachtung gemacht, daſs die obern Schichten aus hellem Waſſer beſtanden, wenn unten ein ſehr concentrirter Extract ablief. Im Ganzen laſſen ſich die ſämmtlichen in Rede ſtehenden Zwecke am beſten durch die von Romershausen ſogenannte hydromechaniſche Extractpreſſe erreichen, deren Conſtruction dem Weſen nach unter Nr. 3. beſchrieben iſt.

2. Die *hydrauliſche* Preſſe, auch Bramah's Preſſe genannt, iſt dem Principe nach von der hydroſtatiſchen nicht verſchieden, wohl aber in Rückſicht ihrer Beſtimmung, wo-

nach sie ganz eigentlich den Namen der hydromechanischen verdient, indem sie zur Erzeugung der stärksten mechanischen Gewalt angewandt wird. Obgleich das ihr zum Grunde liegende Princip höchst einfach und seit den ältesten Zeiten her allgemein bekannt ist [1], so scheint es doch nicht, daſs man früher eine praktische Anwendung davon gemacht habe, ja selbst in England wurde Bramah's patentirte Presse weit weniger bekannt und bei weitem nicht so häufig gebraucht [2], als sie es verdient und dieses gegenwärtig der Fall ist. In Frankreich scheint man sie erst später kennen gelernt zu haben [3] als in Deutschland, wo sie aus einigen Reisebeschreibungen bekannt und auch praktisch in Anwendung gebracht wurde [4].

Die Bramah'sche Presse beruht auf dem hydrostatischen Gesetze, welches man gewöhnlich durch den *anatomischen Heber* und den *follis hydrostaticus* von s'Gravesande erläutert. In den beiden mit einander verbundenen Cylindern A und B wird nämlich das Wasser im gleichen Niveau stehn, so daſs die Querschnitte derselben $\alpha\alpha$ und $\beta\beta$ eine genau horizontale Oberfläche bilden. Gieſst man Wasser in die kleine Röhre, so daſs es bis $\gamma\gamma$ steigt, so wird dasselbe in der groſsen sich gleichfalls bis $\beta'\beta'$ erheben, und der kleine Wassercylinder $\gamma\alpha\alpha\gamma$ drückt also gegen die horizontale Fläche $\beta\beta$ mit einer Kraft, welche dem Gewichte eines Cylinders vom Cubikinhalte $\beta\beta'\beta\alpha\beta'$ gleich ist. Der Druck gegen die Fläche $\beta\beta$ wird also der Höhe des Wassers in der kleinen Röhre proportional zunehmen, und kann demnach bis auf eine alle mechanische Mittel übertreffende Gröſse vermehrt werden, wenn Fig. 134.

1 Die erste Idee, den ungleichen mechanischen Druck des Wassers als bewegende Kraft für Maschinen zu benutzen, findet sich in Pascal's Schrift: De l'équilibre des Liqueurs. Par. 1663.

2 Thomas Young in seinen 1807 erschienenen Lectures erwähnt sie zwar, giebt aber eine Zeichnung, woraus hervorgeht, daſs er die eigentliche Construction nicht kannte.

3 In der Encyclopédie methodique T. IV. p. 379, der zu Paris 1822 gedruckt ist, wird eine ähnliche, aber unvollkommene Presse nach einer Angabe in den Annales des arts et manufactures. T. VI. p. 100. beschrieben.

4 Gilbert in seinen Annalen T. LX. S. 1. theilte 1819 die ursprüngliche Beschreibung derselben durch Nicholson mit, und eine Nachricht von 1818, daſs Nathusius zu Hundisbury sie bereits in Anwendung gebracht habe.

man die Röhre $yaay$ bedeutend erhöht, oder das in ihr enthaltene Wasser durch ein Gewicht zusammendrückt, welches dem Gewichte des Wassers in der verlängerten Röhre gleich ist. Der Druck in beiden Cylindern verhält sich demnach wie die Quadrate ihrer Halbmesser, so daſs, wenn die Halbmesser sich wie 1:100 verhalten, die Pressungen das Verhältniſs 1:10000 geben, wonach also ohne Rücksicht auf den Verlust an Kraft mit einem Pfunde 10000 ℔ gehoben werden könnten.

Hiernach construirte Bramah seine Presse, und erhielt im März des Jahrs 1796 ein Patent darauf[1]. Sie ist späterhin in keinem wesentlichen Stücke verbessert, indem die neuesten noch genau mit der Beschreibung übereinstimmen, die Nicholson von der ersten gegeben hat, die sich noch jetzt bloſs als Muster im Royal Institution zu London befindet. Allgemein wird das Wasser in kleinen Cylindern zusammengepreſst, geht durch ein Verbindungsrohr aus diesem in den groſsen Cylinder, hebt einen in diesem befindlichen Embolus, in dessen Mitte eine verticale Säule aufgerichtet worden ist, deren oberes Ende eine dicke, zum Pressen bestimmte Platte in die Höhe hebt. Die erzeugte Kraftäuſserung oder die hervorgebrachte Pressung läſst sich dann leicht berechnen. Wird nämlich auf den längeren Hebelarm, vermittelst dessen man den Embolus im kleineren Cylinder niederdrückt, mit einer Kraft von p Pfunden gewirkt, ist dann das Verhältniſs beider Hebelarme $= m:1$ und der Durchmesser der Cylinder $= n:1$, so wird ohne Rücksicht auf die Hindernisse der Bewegung, der Embolus im weiten Cylinder mit einer Kraft $= p \times m \times n^2$ gehoben werden[2]. Bei dem ersten durch Bramah verfertigten Exemplare, welches sich im Royal Institution befindet, ist der groſse Cylinder 4 engl. Zoll und der kleinere $\frac{1}{8}$ Z. weit, und die Hebelarme verhalten sich wie 12:1. Nach Nicholson wurde bei einer Prüfung dieser Presse in die Waagschale, am längern Ende eines Hebels, welcher gehoben werden sollte,

---

1 Robison Mechan. Phil. ed. Brewster. T. II. p. 257.

2 Setzt man statt der angenommenen, auf die Einheit reducirten Verhältnisse das der Längen der Hebelarme $= L:l$ und das der Halbmesser $= R:r$, so ist der theoretische Nutzeffect $P = p\,\frac{L}{l}\cdot\frac{R^2}{r^2}$.

eine Last von 2000 ℔ gelegt. Die beiden Hebelarme waren 126 und 6 Zoll lang, mithin muſste die Presse mit einer Kraft von 42,000 ℔ die Waagschale heben, was auch bei jedem Pumpenstoſse um $\frac{1}{3}$ Zoll geschah, wenn an das längere Ende des zur Compression dienenden Hebels 47 ℔ gehangen wurden. Mit 43 ℔ wurde Gleichgewicht erzeugt, und da die Theorie hierfür nur 32 ℔ verlangt, so wurde ungefähr $\frac{1}{4}$ der Kraft zur Ueberwindung der Reibung verwandt. Zu groſsen Pressen nimmt man zwei Druckpumpen mit 1,25 Z. weiten Stiefeln und einen Cylinder von 7 Z. Durchmesser.

Die Bramah'schen Pressen dienen in der Regel bloſs zum Drucken; da sie aber auch zum Ziehn eingerichtet werden können, und es hier nicht sowohl darauf ankommt, für den Mechaniker alle einzelne Theile genau zu beschreiben, als vielmehr eine allgemeine Uebersicht derselben zu geben, die von den verschiednen Künstlern ohnehin mehrfach abgeändert werden, so wähle ich unter den verschiednen mir zu Gebote stehenden Zeichnungen und nach der Ansicht eines vorzüglich schönen Musterexemplars im Royal Institution, desgleichen nach den Modellen bei Watkins in London diejenige, welche Barlow [1] davon gegeben hat, um den Bau derselben dem Wesen nach in einem verticalen Durchschnitte darzustellen.

Der Hauptheil der Maschine ist ein weiter hohler Cylinder ABCD, meistens und bei allen vorzüglich groſsen Pres- Fig.
sen von Guſseisen, sonst auch von Messing oder Glocken- 135.
speise, welcher genau cylindrisch ausgebohrt und ausgeschliffen seyn muſs. In diesem bewegt sich der Embolus EF, welcher bei den kleinern Maschinen massiv ist, bei den gröſsern aber aus einem hohlen, oben und unten mit einer eingeschraubten Platte versehnen Cylinder besteht, in beiden Fällen aber gleichfalls genau abgedreht und abgeschliffen seyn muſs, um sich wasserdicht in dem weiten Cylinder zu bewegen. Auf dem Embolus befindet sich die verticale massive Stange G, die nicht eben gedrängt sich in einer Oeffnung der Dekkelplatte CD bewegt. In den untern Theilen des Embolus ist die massive Stange GH eingeschraubt, welche durch eine

1 Encyclopaedia metropolitana. Mixed Sc. T. I. Hydrodynam. Hydraul. Pl. VI. Fig. 39.

wasserdichte Linderung in der Bodenplatte AB auf- und abwärts gezogen wird, und zum Heben groſser Lasten bestimmt ist. Zum untern Theile des groſsen Cylinders führt der Canal bd, welcher durch ein Kegelventil bei a dem Wasser den Rückgang verschlieſst, und in den kleinen Cylinder mn mündet. Letzterer ist unten durch das Kegelventil g verschlossen, oben aber durch das eingeschobne Stück rs, welches mit einer Linderung versehn ist, durch welche der massive Stab h wasserdicht schlieſsend auf- und abwärts bewegt wird. Zieht man diesen vermittelst eines Hebels in die Höhe, so entsteht im kleinen Stiefel ein leerer Raum, das Wasser dringt durch das mit feinen Löchern zur Abhaltung etwaigen Schmuzes versehene Gefäſs p ein, hebt das Ventil g, und füllt den innern Raum des kleinen Cylinders; drückt man ihn dagegen nieder, so schlieſst sich das Ventil g theils durch sein eignes Gewicht, theils durch den Druck des gepreſsten Wassers, welches das Ventil a hebt, und durch den Canal bd in den groſsen Stiefel dringt. Die Schraube c dient dazu, vermittelst des kleinen Stiftes das Ventil a so stark zu schlieſsen, daſs es durch den Druck des Wassers nicht gehoben werden kann, und ist nur in denjenigen Fällen nöthig, wenn mit dem kleinen Cylinder mn zwei Canäle, die zu zwei groſsen Stiefeln führen, verbunden sind, mit denen man abwechselnd preſst, so daſs die eine Presse stillsteht, wenn die andre gehoben wird. Ist die Pressung oder die Hebung vermittelst der Stange HG′ vollendet, so wird die Schraube e gelüftet, deren untere konische Spitze den Canal f verschlieſst, nach dessen Oeffnung das Wasser aus dem weiten Cylinder ablieſst, worauf der Embolus EF durch sein eignes Gewicht herabsinkt.

Die hier beschriebene Construction der hydraulischen Presse ist die ältere, und scheint nach den von mir in England gesehenen Exemplaren zu urtheilen dort noch jetzt, wenigstens zum Theil, in Gebrauch zu seyn. Hachette[1] aber bemerkt, daſs es bei den für starke Pressungen bestimmten kaum möglich sey, das Hervordringen des Wassers neben dem Embolus zu verhüten, und er beschreibt daher folgende Einrichtung derselben. Statt des Embolus wählt man einen massiven

1 Traité élémentaire des machines. 4me ed. Par. 1828. 4. p. 208.

Cylinder EF, welcher nur wenig dünner iſt, als die innere Fig. 136.
Weite des groſsen Cylinders der Preſse JJ. Letzterer wird bei ee ſo ausgedreht, daſs ein etwas erhabener Ring des Metalls ſtehn bleibt. Ueber dieſen wird eine Lederſcheibe gelegt, mit einer runden Oeffnung in der Mitte, durch welche der Preſscylinder gedrängt geht; der (in der Zeichnung punctirte) Raum über derſelben wird mit Werg oder Hanf, die ſtark mit Unſchlitt getränkt ſind, ausgefüllt, und wenn dann die Schraube KK' die weiche Maſſe ſtark zuſammenpreſst, ſo drückt das Waſſer dieſe und die Lederſcheibe mit ſolcher Gewalt gegen den Preſscylinder EF, daſs kein Tropfen entweicht, ohne eine ſtarke Reibung des glatten Metalls an der fettigen Maſſe zu erzeugen. Es verſteht ſich zugleich von ſelbſt, daſs es vortheilhafter iſt, den untern Theil des Deckelſtücks kk nicht mit einer Schraube zu verſehn, weil das Feſtſchrauben deſſelben groſsen Schwierigkeiten unterliegt, ſondern ſtatt deſſen einen genau paſſenden Cylinder zu wählen, und dieſen vermittelſt einiger Schrauben, welche durch den Ring kk in den gleichfalls mit einem ſtarken Ringe verſehenen groſsen Cylinder ff herabzudrücken. Der Ring kk endlich wird in der Mitte ausgedreht, die dadurch entſtandene Vertiefung $\alpha\alpha$ mit Oel gefüllt, um den Embolus ſtets fettig zu erhalten, und eine Deckelplatte $\beta\beta$, welche den Cylinder EF genau umſchlieſst, ſchützt gegen das Hineinfallen heterogener, die Maſchine verderbender Theile.

Mehrfache Abänderungen dieſer allgemeinen Conſtruction bieten ſich von ſelbſt dar, wohin auch die bereits angezeigte gehört, daſs mit der Compreſſionspumpe mn zwei Preſſen verbunden werden. Auf gleiche Weiſe kann man mit dem Hebel, welcher den Cylinder h bewegt, zwei ſolche einander gleiche verbinden, deren einer aufſteigt, wenn der andere niederſinkt, ſo daſs man nur die Hälfte der Zeit gebraucht, ohne die Kraftanſtrengung des Arbeiters übermäſsig zu erhöhn, die zwar doppelt ſo groſs, dafür aber auch während der ganzen Zeit gleichmäſsiger vertheilt iſt. Endlich wird zuweilen ein Canal lothrecht auf den durch bd bezeichneten herabgeführt, und oben durch ein hinlänglich beſchwertes Sicherheits-Ventil verſchloſſen, welches ſich öffnet, wenn der Druck ſo ſtark wird, daſs er die Wandungen des groſsen Cylinders zerſprengen könnte; in der Regel aber müſſen dieſe hinlänglich ſtark

seyn; und da ohnehin das Zerspringen keine Gefahr bringt, die Ventile dieser Art aber nur mit Mühe genau ſchlieſsend darzustellen sind, so kann man sie füglich weglassen.

Um die äuſsere Gestalt dieser Pressen, wie sie gewöhnlich dargestellt werden, etwas mehr zu versinnlichen, theile ich noch eine Ansicht dieser interessanten Maschinen mit, die man nach der Beschreibung ihrer erstaunlichen Wirkungen sich als colossal zu denken geneigt wird, die aber nichts weniger als übermäſsig groſs, ja man darf sagen auffallend klein sind, indem bloſs die eigentlich zum Pressen bestimmten Theile die
Fig. 137. erforderliche Stärke haben müssen. MM′ ist eine starke eiserne oder steinerne Platte, welche die ganze Maschine trägt und nur bei den kleinen Pressen aus einem dicken Stücke Holz gemacht wird. Auf dieser ruht der Cylinder ABCD, und wenn die Vorrichtung auch zum Ziehen dienen soll, so geht die Zugstange durch diese Platte hindurch. HH′, KK′, sind zwei sehr massive und starke, meistens vierkantige, in die Bodenplatte unzerstörbar befestigte eiserne Säulen, zwischen denen die Platte FF′ zum Festhalten des groſsen Cylinders dient. Am obern Ende dieser Säulen ist mit gleicher Stärke die massive eiserne Platte NN′ befestigt, die den ganzen Druck der Maschine auszuhalten hat, und daher durch zwei hinlänglich starke Keile niedergehalten wird. Auf der Mitte der durch den Embolus gehobenen Stange ruht die gleichfalls massive eiserne Platte LL′, welche an der obern Seite ganz eben, an der untern dagegen nach der Mitte hin dicker und noch obendrein mit einem Kreuze versehen ist, dessen Arme nach den Seiten hin dünner werden, in der Mitte aber etwas vertieft sind, um die dicke runde oder vierkantige Platte aufzunehmen, in welcher die hebende Säule steckt. Der kleine Cylinder n ruht gleichfalls der Festigkeit wegen auf der massiven Bodenplatte, durch welche sein unterer Theil hindurch in ein Wassergefäſs geführt ist, aus welchem die Speisung der Maschine geschieht, und in welches das bereits zur Compression gebrauchte Wasser wieder abflieſst. Die Vorrichtung, mittelst deren der Embolus oder die seine Stelle vertretende Stange auf- und abwärts gedrückt wird, deren Bewegung allezeit genau vertical seyn muſs, eben wie die sonstigen bereits beschriebenen Theile der Maschine sind an sich klar.

Digitized by Google

Daſs diese Maschinen, ihrer erstaunlichen Wirkungen ungeachtet, dennoch keine auſserordentliche Gröſse haben, beweisen am besten folgende durch Barlow angegebene, und zwar von keinem bestimmten Exemplare entnommene, aber dennoch den eigentlichen gewiſs sehr nahe kommende Bestimmungen. Ist der Durchmesser des groſsen Cylinders = 12 Z. und der des kleinen oder des *Injectors*, etwa 0,25 Z., so ist das Verhältniſs der Flächen beider Wassercylinder = 2304:1. Wird dann der Embolus mit einer Kraft von 20 c:wt. niedergedrückt[1], so hebt sich der Embolus im groſsen Cylinder mit einer Kraft von 20×2304 = 46080 cwt. oder 2304 Tonnen. Um die letzteren Gröſsen auf bekanntere Bestimmungen zu reduciren, wollen wir annehmen, daſs auf das Ende des längern Hebelarms der Compressionspumpe mit einer Kraft von 50 ℔ gewirkt werde, was gegen das Ende der Arbeit auf kurze Zeit ſüglich geschehn kann, und allerdings als Maximum, daſs das Verhältniſs der Hebelarme = 1:50 sey, in welchem Falle die in den engern Cylinder herabzupressende Stange nur 1 Z. herabgehn, das Ende des Hebelarms aber 4 F. 2 Z. durchlaufen müſste, so erhalten wir den Brutto-Nutzeffect = 5'760000 ℔, und wenn dieser zur Auffindung

1 Das engl. C.wt. beträgt 112 ℔ av. du poid Gewicht, und das ℔ av. du poid nach genauester Valvirung 453,594 Gramme (vergl. Art. *Maſs*). Hiernach betragen 20 C.wt. nahe genau 1016 Kilogramme, und wenn man also annimmt, daſs ein Mensch gegen das Ende der Operation, wo die Compression am stärksten seyn muſs, den Hebelarm der kleinen Pumpe mit einer Kraft von 20 Kilogrammen niederdrückt, so müſste das Verhältniſs der Längen beider Hebelarme 1:50 seyn, mithin müſste das Ende des bewegten längeren Armes 4 Fuſs 2 Zoll durchlaufen, wenn der Cylinder der kleinen Presse 1 Zoll herabgehn, der Cylinder der groſsen aber $\frac{1}{2304}$ Zoll steigen sollte. Angenommen, daſs jedes Niederdrücken und Heben des kleinen Cylinders 4 Secunden Zeit erforderte, so würde die Presse in 1 Stunde und 8 Minuten nur 1 Zoll hoch steigen, und wenn man nach Nicholson's oben erwähnter Angabe $\frac{1}{4}$ für Hindernisse der Bewegung abrechnet, so müſste ein Mensch 1 Stunde 25 Minuten arbeiten, um das pressende Brett 1 Zoll hoch zu heben, würde dabei aber mit einer Anstengung von etwa 40 Pfund eine Kraftäuſserung von 4,6 Millionen ℔ erzeugen. Inzwischen dürfte diese Leistung der Maschine doch wohl als ein kaum erreichbares Maximum zu betrachten seyn, die im Texte hypothetisch angenommenen Gröſsen stimmen mit Barlow's Angaben sehr nahe überein.

Digitized by Google

des wirklichen Nutzeffects in dem oben angegebenen Verhältnisse von 32:43 zur Berechnung der Hindernisse genommen würde, so bliebe dennoch die unerwartete Gröſse von fast 4'280000 ℔. Barlow bemerkt mit Recht, daſs diese Maschine bei ihrer Einfachheit keineswegs den vielfachen Hindernissen und Unbequemlichkeiten unterliegt, die bei andern aus den verschiednen einzelnen Theilen derselben hervorgehn, und daſs ihre Kraft durch Aenderung des einen oder des andern der angegebenen Verhältnisse nach Willkür verstärkt werden kann, wenn man nur für hinlängliche Dauerhaftigkeit der Theile sorgt. Hierzu kommt noch die Bequemlichkeit, daſs man das Verbindungsrohr beider Cylinder auf nicht ganz unbeträchtliche Strecken fortführen, und daher die Maschinentheile an verschiedenen Orten aufstellen kann, abgerechnet, daſs die ganze Maschine nicht groſs und leicht von einem Orte zum andern transportirbar ist.

Die Construction der hydromechanischen Pressen ist dem Wesen nach so einfach, daſs ihr Bau keine wesentliche Abänderungen erhalten hat, so vielfache Anwendungen man von denselben auch macht, indem sie zum Copiren der Briefe, insbesondere zum Pressen des Papiers, zum Auspressen des Wassers aus gebleichten und gewaschenen Zeugen, zum Zusammendrücken leichter Waaren, als seidener und baumwollener Zeuge, des Heues, des Schieſspulvers u. s. w., damit diese gegen den Einfluſs der Nässe geschützt werden und auf den Schiffen einen kleineren Raum einnehmen, ferner zum Ausreiſsen der Pfähle und Baumwurzeln, ja sogar zum Heben sehr schwerer Lasten u. s. w. gebraucht werden. Hauptsächlich hat man eine Mangelhaftigkeit derselben darin gefunden, daſs die zur Bewegung des Stempels erforderliche Kraft nicht stets gleichmäſsig ist, indem sie vielmehr bedeutend zunehmen muſs, wenn die gepreſsten Substanzen dichter werden, was zwar bei allen andern Pressen gleichfalls statt findet, sich aber besonders dann als hindernd zeigt, wenn die Presse durch eine stets gleichbleibende mechanische Kraft bewegt werden soll. Es sind daher mehrere Vorschläge gemacht, um diesem Mangel zu begegnen, namentlich durch Alban[1], welcher die stark comprimirte Luft zu diesem Zweck anwendet, was je-

1 Dingler's polytech. Journ. Bd. XXXII. S. 73.

Digitized by Google

doch wegen der Gefahr des Zerplatzens der hierzu erforderlichen Gefäſse und der Schwierigkeit, stark comprimirte Luft gehörig abzuschlieſsen, nicht allgemeinen Beifall finden möchte. Weit einfacher ist eine durch Tredgold[1] beschriebene Vorrichtung, die ein gewisser Spiller erfunden, und in Verbindung mit Bramah hat patentiren lassen. Sie ist im Wesentlichen auf folgendes Princip gegründet. Die zur Bewegung der Injectionspumpen erforderliche Kraft ist der Menge des einzupressenden Wassers multiplicirt in den dabei zu überwindenden Widerstand proportional. Indem aber der letztere Factor bei jedem Kolbenzuge zunimmt, so ist es nöthig, den erstern abnehmend zu machen. Zu diesem Ende werden zwei Injectionspumpen angebracht, beide durch Krummzapfen an gezahnten Rädern bewegt, welche mit einem gemeinschaftlichen Schwungrade versehn sind, und wovon das eine nur einen Zahn weniger hat als das andere, mithin beim gemeinschaftlichen Umlaufen um denjenigen aliquoten Theil zurückbleiben muſs, welcher durch die Gesammtzahl der Zähne bestimmt wird. Wenn daher beide Krummzapfen anfangs einander parallel sind, und gleichzeitig zur Injicirung des Wassers niedergedrückt werden, so wird der eine in seiner Richtung gegen den andern einen Kreis durchlaufen, nach dessen halber Vollendung der eine Embolus aufsteigt, wenn der andere niedergedrückt wird, wodurch dann in dem nämlichen Zeitmomente nur die Hälfte des Wassers im Verhältniſs zur ersten Injection in den gröſsern Cylinder gepreſst wird, obgleich die Quantität des eingepreſsten Wassers im Ganzen sich gleich bleibt.

Es scheint mir jedoch, als ob sich der vorliegende Zweck auf eine andere einfachere Weise erreichen lieſse. Indem es nämlich bei dieser Art von Injectionspumpen keineswegs nothwendig ist, daſs der Embolus stets gleich hoch gehoben werde, die Menge des injicirten Wassers aber dieser Höhe direct proportional zunimmt, so bedarf es bloſs einer Vorrichtung, diese Höhe auf eine solche Weise zu vermindern, daſs sie ihr Minimum erreicht, wenn die Pressung der Maschine auf ihr Maximum gestiegen ist. Zu diesem Ende würde ich vorschlagen, den Krummzapfen am Rade A aus einer männlichen Fig. 138.

1 Edinburg philosoph. Journ. Nr. XXVII. S. 29.

Schraube zu verfertigen, die Warze aber, welche die Stange b g hält, auf eine Hülse d zu befestigen und diese über einen inwendig mit einer mütterlichen Schraube versehenen Cylinder zu stecken. Letzterer wäre dann am einen Ende mit 4 um einen Quadranten von einander abstehenden, auf die Axe lothrechten Armen zu versehn, von denen bei jeder Umdrehung des Rads einer n von einer horizontalen Querstange gefaſst und durch den Bogen eines Quadranten so umgedreht würde, daſs die Hülse d und diesemnach auch die Warze der Stange bei jeder Umdrehung um 0,25 eines Schraubengangs dem Centrum c näher rückte. Hierdurch würde bei jedem Auf- und Niedergange des Embolus der die Stange bewegende Hebelarm kürzer, mithin seine Kraft in gleichem Verhältnisse stärker und aus der Zahl der zum Maximum der Pressung erforderlichen Menge von Pumpenstöſsen lieſse sich dann die Zahl der Schraubengänge leicht berechnen, welche erforderlich wäre, um die Warze aus ihrem anfänglichen gröſsten Abstande dem Centrum zuletzt am nächsten zu bringen, wobei sich von selbst versteht, daſs zu gröſserer Stärke des die Stange g b bewegenden Hebelarms an der hintern Seite der Hülse d ein Zapfen angebracht seyn muſs, welcher sich in einem Einschnitte der Scheibe A bewegt, und verhütet, daſs nicht die Schraube die ganze zum Heben und Niederdrücken des Embolus erforderliche Kraft zu leisten habe. Die hydraulischen Pressen müssen nach Erreichung des Maximums der Pressung zum Stillstehn gebracht werden, um das Wasser wieder abflieſsen zu lassen und während dieser Zeit kann man die Schraube wieder zurückschrauben, damit sie bei der wieder beginnenden Pressung abermals auf die anfängliche Weise wirke. Hat man zwei vereinte Pressen, die mit einander wechseln, z. B. beim Oelpressen, so lieſse sich die Einrichtung leicht so treffen, daſs die nämliche bewegende Kraft zuerst die eine und während des Stillstandes von dieser die andre Presse in Bewegung setzte.

Beschreibungen und Zeichnungen der gewöhnlichen hydraulischen Pressen sind in Menge bekannt gemacht, unter andern durch Christian[1], welcher ihnen die angezeigten Vor-

---

1 Traité de Mécanique industrielle cet. Par. 1825. T. III. p. 330 und 82.

Digitized by Google

züge allerdings einräumt, sie jedoch für zu sehr zusammengesetzt in ihrem Baue und einer zu genauen Sorgfalt in der Behandlung bedürfend hält. Vorzüglich belehrend handelt über dieselben v. Gerstner[1] theils nach frühern Beschreibungen, theils nach eigner Ansicht und Prüfung solcher Maschinen. Einige Verbesserungen derselben sind vorgeschlagen, unter andern durch D. A. Borgnis[2], um sie zum Auspressen des Oels und Mostes bequem einzurichten, desgleichen durch Hallette[3], dessen Maschine jedoch in einem hohen Grade künstlich gebaut ist. Alban[4] sucht darzuthun, daſs es besser sey, Oel zur comprimirenden Flüssigkeit zu wählen, als Wasser, wofür sich allerdings bedeutende Gründe anführen lassen, obgleich der höhere Preis dieser Substanz und das allmälige Dickwerden derselben sich als Hindernisse zeigen.

M.

Prisma.

Prisma; le Prisme; *the Prisme;* ist in der Stereometrie der Name jedes Körpers, dessen ebene Seitenflächen sich in parallelen Linien schneiden und dessen beide Grundflächen parallele Ebenen sind.

In der Physik wird vorzüglich in der Optik vom Prisma Gebrauch gemacht, indem man sich der prismatischen Körper bedient, um die Erscheinungen der Brechung des Lichts und der dabei hervorgehenden Farben zu zeigen, auch um die Stärke der Brechung zu bestimmen.

Man bedient sich gewöhnlich der dreiseitigen Prismen, indeſs kommt es bei der Bestimmung der Brechung nur auf die Neigung der beiden Seitenflächen an, durch welche der eintretende und wieder austretende Lichtstrahl geht, und dieser Winkel heiſst der *brechende Winkel.* Soll das Prisma zu genauen Versuchen dienen, so müssen diese zwei Seitenflächen vollkommene Ebenen seyn und man muſs ihren Nei-

---

1 Handbuch der Mechanik. Bd. II. §. 100. S. 132. Prag. 1832. 4.

2 Brugnatelli Giornale di Fisica cet. T. X. p. 1.

3 Bulletin de la Soc. d'Encouragement. N. 272. daraus in Dingler's polyt. Journ. T. XXIV. p. 473.

4 Dingler's Journ. T. XXIX. p. 85.

Digitized by Google

gungswinkel genau kennen; auch muſs das Prisma aus einer vollkommen gleichartigen Materie bestehn, damit nicht die Brechung in einigen Theilen eine andre sey. Will man sich flüssiger Materien bei der Untersuchung über die Brechung bedienen, so wendet man ebene Glasplatten mit genau parallelen Oberflächen an, befestigt diese unter einem angemessenen Winkel an einander und füllt den so entstandenen prismatischen Raum mit jener Flüssigkeit. Um das Glasprisma, dessen man sich am meisten bedient, bequem zu gebrauchen, ist es gut, es so auf einem Gestelle zu befestigen, daſs es um eine mit den Kanten genau parallele Axe sich drehen läſst.

Der eigentliche Gebrauch des Prisma's ist erst durch Newton's Entdeckungen den Physikern klar geworden, indeſs ist die Kenntniſs, daſs eckig geschliffene Gläser Farben zeigen, sehr alt[1] und Descartes machte schon vom Prisma Gebrauch, um Farbenerscheinungen darzustellen, die mit dem Regenbogen Aehnlichkeit hätten[2]. Newton's Anwendung des Prisma's ist in den Artikeln *Brechbarkeit*, *Brechung*, *Farbe*, angegeben.

Das einfache Prisma.

Fig. 139. Wenn der brechende Winkel des Prisma's, $ABC = \alpha$ und das Brechungsverhältniſs $= \mu$ bekannt ist, so läſst sich der Winkel bestimmen, den der nach zwei Brechungen hervorgehende Strahl mit dem einfallenden Strahle macht. Es sey FD der einfallende Strahl, DG der gebrochene, jener mache mit dem Einfallslothe den Winkel $= \varphi$, dieser den Winkel $= \varphi'$, und ebenso sey wieder bei G φ'' der Winkel, den der Strahl DG, φ''' der Winkel, den der hervorgehende Strahl GJ mit dem Einfallslothe macht; so erhellet aus den Regeln der Brechung leicht, daſs $\text{Sin.}\,\varphi' = \mu\,\text{Sin.}\,\varphi$ $\text{Sin.}\,\varphi''' = \frac{1}{\mu}\text{Sin.}\,\varphi''$ ist, und da im Dreiecke BDG die Winkel α, $90° - \varphi'$, $90° - \varphi''$ vorkommen, so ist $\alpha = \varphi' + \varphi''$. Diese drei Gleichungen reichen hin, sowohl φ''' zu berechnen, wenn φ gegeben ist, als

1 Seneca in quaest. natur. I. 7. Zahn oculus artificialis. Norib. 1702. p. 498.

2 Priestley Geschichte der Optik. S. 91.

Digitized by Google

auch den Winkel $=\eta$ zu finden, den die Linien FD, GJ mit einander machen, oder die gesammte Gröſse der Brechung. Es ist nämlich

$$\eta = \varphi - \varphi' + \varphi''' - \varphi'',$$
$$\text{oder } \eta = \varphi + \varphi''' - \alpha.$$

Als besonderer Fall verdient der, wo $\alpha = 0$ ist, erwähnt zu werden, nämlich derjenige, wo die beiden Seitenflächen parallel sind. Hier ist $\varphi'' = -\varphi'$ und daher

$$\varphi''' = -\varphi,$$

also $\eta = 0$, der hervortretende Strahl mit dem einfallenden parallel.

Wenn α einen bestimmten Werth hat oder man immer dasselbe Prisma anwendet, ist η abhängig von φ und ändert sich, wenn φ sich ändert; *η erhält seinen kleinsten Werth, wenn $\varphi = \varphi'''$ und folglich $\varphi' = \varphi''$ ist.* Denn man hat allgemein

$d\eta = d\varphi + d\varphi'''$, also für den Fall des Gröſsten oder Kleinsten

$$d\varphi = -d\varphi'''. \text{ Da nun}$$

$$d\varphi = \frac{d\varphi' \text{ Cos. } \varphi'}{\mu . \text{Cos. } \varphi};$$

$$d\varphi''' = \frac{d\varphi'' \text{ Cos. } \varphi''}{\mu . \text{ Cos. } \varphi'''}, \text{ oder weil}$$

$$d\varphi'' = -d\varphi' \text{ ist,}$$

$$d\varphi''' = -\frac{d\varphi' . \text{ Cos. } \varphi''}{\mu . \text{ Cos. } \varphi'''}, \text{ so muſs}$$

$\frac{\text{Cos. } \varphi'}{\text{Cos. } \varphi} = \frac{\text{Cos. } \varphi''}{\text{Cos. } \varphi'''}$ seyn für den kleinsten Werth. Diese Bedingungen mit der allgemeinen $\text{Cos. } \varphi' = \sqrt{(1 - \mu^2 \text{ Sin.}^2 \varphi)}$ und $\text{Cos. } \varphi'' = \sqrt{(1 - \mu^2 \text{ Sin.}^2 \varphi''')}$ verbunden, giebt:

$$(1 - \mu^2 \text{ Sin.}^2 \varphi)(1 - \text{Sin.}^2 \varphi''') = (1 - \text{Sin.}^2 \varphi)(1 - \mu^2 \text{Sin.}^2 \varphi'''),$$

woraus $\text{Sin. } \varphi = \text{Sin. } \varphi'''$ folgt. Da hiermit $\varphi' = \varphi''$ nothwendig verbunden ist, so findet der Fall der kleinsten Ablenkung des Strahls statt, wenn $\varphi' = \varphi'' = \frac{1}{2}\alpha$ ist, oder wenn der Lichtstrahl DG mit beiden Seitenflächen in der Brechungs-Ebene gleiche Winkel macht[1].

Daſs dieser Fall einen *kleinsten* Werth für η giebt, er-

1 Ein mehr elementarer Beweis findet sich in Ann. de Ch. et Ph. XLVII. 88.

Digitized by Google

hellet, wenn man $d^2\eta$ sucht. Hierbei ist es am natürlichsten, $d\varphi$ als constant, oder die Aenderungen von φ als gleichmäſsig fortgehend anzusehn, so daſs $d^2\eta = d^2\varphi'''$ ist.

Da $d\varphi''' = -d\varphi \frac{\text{Cos.}\,\varphi\ \text{Cos.}\,\varphi''}{\text{Cos.}\,\varphi'\ \text{Cos.}\,\varphi'''}$, so ist

$$d^2\varphi''' = \frac{d\varphi^2\ \text{Sin.}\,\varphi\ \text{Cos.}\,\varphi''}{\text{Cos.}\,\varphi'\ \text{Cos.}\,\varphi'''} - \frac{d\varphi\, d\varphi'\ \text{Cos.}\,\varphi\ \text{Sin.}\,\varphi''}{\text{Cos.}\,\varphi'\ \text{Cos.}\,\varphi'''}$$
$$- \frac{d\varphi\, d\varphi'\ \text{Sin.}\,\varphi'\ \text{Cos.}\,\varphi\ \text{Cos.}\,\varphi''}{\text{Cos.}^2\varphi'.\ \text{Cos.}\,\varphi'''}$$
$$- \frac{d\varphi\, d\varphi'''.\ \text{Sin.}\,\varphi'''\ \text{Cos.}\,\varphi\ \text{Cos.}\,\varphi''}{\text{Cos.}\,\varphi'.\ \text{Cos.}^2\varphi'''}.$$

Dieses geht für den Fall, da $d\varphi = -d\varphi'''$, $\varphi = \varphi'''$, $\varphi'' = \varphi'$ war, in

$$d^2\varphi''' = d\varphi^2.\ \text{Tang.}\,\varphi - 2\,d\varphi\, d\varphi'\ \text{Tang.}\,\varphi' - d\varphi\, d\varphi'''\ \text{Tang.}\,\varphi$$
$$= 2\,d\varphi\,[d\varphi\ \text{Tang.}\,\varphi - d\varphi'\ \text{Tang.}\,\varphi']$$
$$= 2\,d\varphi^2 \left\{\text{Tang.}\,\varphi - \frac{\mu\,\text{Cos.}\,\varphi}{\text{Cos.}\,\varphi'}\ \text{Tang.}\,\varphi'\right\}$$

über. Dieser Werth von $d^2\varphi'''$ oder $d^2\eta$ ist aber gewiſs positiv (also η ein Kleinstes in diesem Falle) da schon $\text{Tang.}\,\varphi' < \text{Tang.}\,\varphi$, ferner $\mu < 1$ und $\frac{\text{Cos.}\,\varphi}{\text{Cos.}\,\varphi'} < 1$.

Für diesen Fall der kleinsten Brechung ist also $\eta = 2\varphi - \alpha$ und $\text{Sin.}\,\varphi = \frac{1}{\mu}.\ \text{Sin.}\,\frac{1}{2}\alpha$, oder wenn, wie es am häufigsten der Fall ist, $\alpha = 60°$, $\text{Sin.}\,\varphi = \frac{1}{2\mu}$.

Man erkennt im Versuche selbst diejenige Lage, bei welcher η am kleinsten wird, daran, daſs die Richtung des gebrochen hervorgehenden Strahls sich fast gar nicht ändert, wenn man auch das Prisma etwas dreht und dadurch die Gröſse von φ ändert. Ist nämlich PQ ein in das dunkle Zimmer fallender Sonnenstrahl, so sieht man bei der Drehung des Prisma's das Sonnenbild 0 an der Wand herabrücken, bis $\varphi = \varphi'''$ geworden ist; wenn dieses statt findet, so kann man die Drehung nach eben der Richtung um einen merklichen Winkel fortsetzen, ohne daſs das Sonnenbild seine Lage ändert; setzt man die Drehung noch weiter fort, so steigt das Sonnenbild wieder und hatte also für $\varphi = \varphi'''$ seine niedrigste

Fig. 140.

Digitized by Google

oder der kleinsten Brechung entsprechende Lage erreicht. Ebenso wenn man das Auge in O stellt, um den Gegenstand P wahrzunehmen, sieht man diesen nach der Richtung Op, und bei der Drehung des Prisma's rückt der scheinbare Ort p des Gegenstands hinauf, bis das Prisma die Stellung hat, wo $\varphi = \varphi'''$ ist, dann aber fängt er wieder an herabzurücken, wenn man das Prisma noch weiter dreht.

Wenn $\alpha = 60^\circ$ ist, so tritt der Fall der kleinsten Brechung ein für $\varphi' = 30^\circ$, und es ist daher für ein Glasprisma, wo $\mu = \frac{2}{3}$, $\varphi = \varphi''' = 48^\circ\ 36'$ und die gesammte Brechung $= 97^\circ\ 12' - 60^\circ = 37^\circ\ 12'$, für ein Wasserprisma, wo $\mu = \frac{3}{4}$, ist $\varphi = 41^\circ\ 49'$, $\eta = 23^\circ\ 38'$.

Ein Prisma kann den Fall der kleinsten Brechung offenbar gar nicht mehr darbieten, wenn $\frac{1}{\mu}$ Sin. $\frac{1}{2}\,\alpha > 1$ ist, also darf bei einem Glasprisma, wenn $\frac{1}{\mu} = 1{,}5$ ist, das Prisma keinen brechenden Winkel haben, der mehr als $83^\circ\ 38'$ beträgt. Neben diesem *einen* Hauptfalle, wo die Brechung am kleinsten ist, verdient ein zweiter Hauptfall näher betrachtet zu werden, wo der Strahl gar nicht mehr bei G hervorgeht, Fig. 139.
sondern die totale Reflexion eintritt. Dieses geschieht da, wo Sin. $\varphi''' > 1$ werden sollte, oder die Grenze der Totalreflexion ist da, wo Sin. $\varphi''' = 1$ oder $\mu = \text{Sin.}\,\varphi'' = \text{Sin.}\,(\alpha - \varphi')$ ist. Man erhält also $\mu = \text{Sin.}\,\alpha . \sqrt{(1 - \mu^2\,\text{Sin.}^2\,\varphi)} - \text{Cos.}\,\alpha .\, \mu\,\text{Sin.}\,\varphi$, woraus $\mu^2\,\text{Sin.}^2\,\varphi + 2\mu^2\,\text{Sin.}\,\varphi .\ \text{Cos.}\,\alpha = -\mu^2 + \text{Sin.}^2\,\alpha$, oder $\mu\,\text{Sin.}\,\varphi = -\mu\,\text{Cos.}\,\alpha + \text{Sin.}\,\alpha \sqrt{(1 - \mu^2)}$ folgt.

Für $\alpha = 60^\circ$ und $\mu = \frac{2}{3}$ erhält man diesen Werth von $\text{Sin.}\,\varphi - \frac{\sqrt{3}}{2} . \frac{\sqrt{5}}{2} - \frac{1}{2}$, also $\varphi = 27^\circ\ 55'$. In einem Glasprisma, wo $\alpha = 60^\circ$ ist, kann also der einfallende Strahl nur dann aus der Seitenfläche BC in die Luft hervorgehn, wenn φ zwischen 90° und $27^\circ\ 55'$ ist; sobald FDA $> 62^\circ\ 5'$ ist, fängt der Strahl an, in G gänzlich zurückgeworfen zu werden, wenn er dort in die Luft hervordringen soll. Läge dagegen an BC eine andere Materie, Wasser zum Beispiel, an, so daſs μ' dort einen von μ verschiednen Werth erhielte, so hätte man allgemeiner $\text{Sin.}\,\varphi''' = 1 - \frac{1}{\mu'} .\ \text{Sin.}\,\varphi''$,

Digitized by Google

also $\mu' = \text{Sin.}\,\alpha . \sqrt{(1 - \mu^2\ \text{Sin.}^2\,\varphi)} - \mu\ \text{Sin.}\ \varphi .\ \text{Cos.}\ \alpha.$

oder $\mu^2 \text{Sin.}^2 \varphi + 2\mu\mu'\ \text{Sin.}\,\varphi\ \text{Cos.}\,\alpha$
$= \text{Sin.}^2\ \alpha - \mu'^2,$

$\mu\ \text{Sin.}\ \varphi = -\mu'\ \text{Cos.}\ \alpha + \text{Sin.}\ \alpha \sqrt{(1 - \mu'^2)}$. Dieses würde, wenn Wasser an B C anläge und $\mu' = \frac{8}{9}$ ist, für $\alpha = 60°, \mu = \frac{2}{3}$,

$\text{Sin.}\ \varphi = -\frac{2}{3} + \frac{3}{2} . \frac{\sqrt{3}}{2} . \frac{\sqrt{17}}{9} = -\ 0{,}0715.$ geben, also $\varphi = -\ 4°\ 6'$. Selbst der auf A B senkrecht einfallende Strahl, für den $\varphi'' = 60°$ ist, giebt $\varphi''' = 76°\ 59'$, also einen in das Wasser eindringenden Strahl; ist aber $\varphi = -4°$, oder A D F $= 94°$, $\varphi' = -\ 2°\ 40'$, $\varphi'' = 62°\ 40'$, so wird $\varphi''' = 88°$ und dieser Strahl ist also beinahe der letzte, der noch hervordringt. Ist der brechende Winkel des Prisma's gröſser als 60°, so ist der Grenzwerth von φ gröſser und die Erscheinung der Refraction des Strahls ist also von $\varphi = 90°$ an auf einen immer kleineren Winkel beschränkt, je gröſser α ist; für $\alpha = 83°\ 38'$ ist $\varphi = 90°$ selbst die Grenze, und kein einfallender Lichtstrahl geht gebrochen an der andern Seite hervor, sondern alle erleiden die totale Reflexion.

Die bisherigen Betrachtungen sind so angestellt, daſs μ als bekannt angesehn würde; wäre dagegen φ und φ''' bestimmt, so könnte man μ durch Beobachtung der gesammten Brechung finden, ein Zweck, zu welchem das Prisma oft angewandt wird[1]. Unter den von den Farben nicht abhängenden Erscheinungen durch das Prisma will ich nur einer erwähnen. Wenn man durch das Prisma sehend eine mit den Kanten des Prisma's parallele gerade Linie betrachtet, so erscheint sie gekrümmt. Dieses kommt daher, weil da, wo man ein gröſseres Gesichtsfeld übersieht, die Strahlen nicht sämmtlich, wie wir bisher es angesehn haben, in der Ebene des Neigungswinkels jener beiden brechenden Ebenen liegen. Der Winkel α kommt für die seitwärts liegenden Strahlen nicht genau so, wie für die aus der Mitte des Gesichtsfeldes zu uns gelangenden Strahlen, vor, und es lieſsen sich leicht die genauen Bestimmungen auch für die seitwärts liegenden Puncte angeben.

Bei den Untersuchungen über das Farbenbild, welche das

---

1 S. Art. *Brechung*.

Prisma darstellt, scheinen mir die Fragen, 1. ob denn das Sonnenbild bei gleicher Brechbarkeit aller Strahlen rund erscheinen würde, und 2. welche Verlängerung des Farbenbildes unter verschiedenen Unständen hervorgeht, vorzügliche Aufmerksamkeit zu verdienen.

Wenn die Sonnenstrahlen durch eine sehr kleine Oeffnung in das dunkle Zimmer eindringen, so bilden sie einen Kegel, dessen Spitze in der Oeffnung liegt und dessen Seitenlinien einen Winkel, gleich dem scheinbaren Durchmesser der Sonne, mit einander machen. Auf einer Tafel, die dem Sonnenstrahle, ohne Zwischenkunft eines Prisma's, senkrecht entgegen gehalten wird, zeigt sich also ein kreisförmiges Sonnenbild, und wir fragen nun, welche Aenderung leidet die Gestalt dieses Sonnenbildes, wenn die Sonnenstrahlen im Prisma gebrochen, aber alle gleich gebrochen werden. Wenn man durch die Oeffnung und den Mittelpunct der Sonne eine mit den Kanten des Prisma's parallele Ebene legt, so können wir von den in dieser Ebene liegenden Strahlen des sehr eng begrenzten Strahlenkegels annehmen, daſs sie eben die Divergenz nach der Brechung, wie vor der Brechung behalten, eine Divergenz, die dem scheinbaren Sonnendurchmesser gleich, $= 31'$ ist; für die Strahlen dagegen, die in einer gegen die Kanten des Prisma's senkrechten Ebene liegen, muſs eine nähere Untersuchung statt finden. Wenn einer dieser Strahlen unter dem Winkel φ, ein andrer unter dem Winkel $\varphi + \Delta\varphi$ auffällt, so ist die Aenderung von φ''', nach unserer vorigen Bezeichnung, nahe genug $\Delta\varphi''' = -\frac{\Delta\varphi. \operatorname{Cos}.\varphi. \operatorname{Cos}.\varphi''}{\operatorname{Cos}.\varphi'. \operatorname{Cos}.\varphi'''}$.

Daraus folgt $\Delta\eta = \Delta\varphi \left(1 - \frac{\operatorname{Cos}.\varphi. \operatorname{Cos}.\varphi''}{\operatorname{Cos}.\varphi'. \operatorname{Cos}.\varphi'''}\right)$ und dieses wird $= 0$, das ist, die Strahlen werden gleich stark gebrochen, behalten also ihre Neigung von $31'$ auch nach der Brechung, wenn $\varphi = \varphi'''$; $\varphi'' = \varphi'$ ist; aber in jedem andern Falle findet eine Aenderung der Neigung der gebrochenen Strahlen statt, die für $\alpha = 60°$ und $\mu = \frac{4}{3}$, wenn $\varphi''' = 85°$ ist, auf $\Delta\varphi''' = 8. \Delta\varphi$ steigt. Der vom einen Sonnenrande unter dem Winkel $\varphi = 28°$ auffallende Strahl giebt $\varphi''' = 87°\ 29'$, der vom andern Sonnenrande unter dem Winkel $\varphi = 28°\ 31'$ auffallende Strahl giebt $\varphi''' = 83°\ 8'$, also beide Strahlen beim Hervorgehen um $4\frac{1}{3}°$ divergirend, dagegen für $\varphi = 48°\ 5'$ und

48° 36′, $\varphi''' = 49° 6' 5''$ und 48° 34′ 50″, $\Delta\varphi''' = 31', 25''$ also von $\Delta\varphi$ wenig verschieden ist. Im ersten Falle würde also das Sonnenbild selbst bei gleicher Brechung aller Strahlen in die Länge gezogen, in dem Falle der kleinsten Brechung dagegen müſste es fast ganz genau kreisförmig erscheinen.

Das Farbenbild ist dagegen auch bei der Stellung, wo die Brechung am kleinsten ist, sehr in die Länge gezogen und dieses kann durch nichts anders als durch die ungleiche Brechung der verschiedenen Farbenstrahlen erklärt werden. Diese Verlängerung des Farbenbildes ist ungleich nach der Brechungs- und Zerstreuungskraft jedes Körpers, wie aus folgenden Beispielen erhellet, in welchen μ das Brechungsverhältniſs für die rothen, μ' für die violetten Strahlen ist, und $\alpha = 60°$ angenommen wird.

1. Für Flintglas, wo $\mu = 0{,}6132$, $\mu' = 0{,}6053$ ist, würde die kleinste Brechung für $\varphi = \varphi''' = 55° \; 10'$ für die mittlern Strahlen statt finden; aber $\varphi = 55° \; 10'$ giebt für rothe Strahlen $\varphi''' = 56° \; 15'$, für violette $\varphi''' = 54° \; 7'$. Ein einziger Sonnenstrahl verbreitet sich also über den Raum, der dem Winkel $= 2° \; 8'$ entspricht, und die Länge des Sonnenbildes wird 2° 39′, also fünfmal so lang als breit.

2. Das Tafelglas giebt $\mu = 0{,}6562$, $\mu' = 0{,}6503$ und zu $\varphi = 49° \; 57'$ gehört $\varphi''' = 50° \; 33'$ im einen Falle, $\varphi''' = 49° \; 20'$ im andern Falle; das Sonnenbild ist $= 1° \; 13' + 31' = 1° \; 44'$ lang, also nur $3\frac{1}{3}$ mal so lang als breit.

3. Das Brechungsverhältniſs für Wasser ist $\mu = 0{,}7507$, $\mu' = 0{,}7469$ und $\varphi = 41° \; 53'$ giebt die beiden Werthe von $\varphi''' = 42° \; 91; \; 41° \; 37'$; Länge des Sonnenbildes $= 63'$, und doppelt so lang als breit.

Welchen Raum in diesem Spectrum jede Farbe einnimmt, ist in den Artikeln *Brechung*[1] und *Farbe*[2] angegeben.

In dieser Betrachtung des einfachen Prisma's verdienen nun noch die mehreren farbigen und weiſsen Sonnenbilder eine Erwähnung, die sich uns zeigen, wenn ein Sonnenstrahl
Fig. im dunkeln Zimmer auf das Prisma fällt. Es sey AB ein eng
141. begrenzter Lichtstrahl, der nach BC, CD gebrochen wird, so zeigt sich in D das eigentliche Farbenbild, auf welches wir

1 S. 1124.
2 S. 72.

Digitized by Google

unsre Aufmerksamkeit zu richten pflegen; aber schon in B leiden die Lichtstrahlen eine Zurückwerfung, ein Theil des Lichts geht daher für jenes Farbenbild verloren und zeigt uns bei E ein Sonnenbild. Daſs dieses ein weiſses Sonnenbild seyn muſs, erhellet leicht, da bei der Reflexion keine Farbenzerstreuung statt findet. Ein zweites von der Zurückwerfung abhängendes Sonnenbild entsteht dadurch, daſs der bei C auf die Rückseite des Prisma's treffende Lichtstrahl nicht ganz hervordringt, sondern zum Theil nach CF zurückgeworfen wird, dann aber, bei F gebrochen, nach der Richtung FG hervorgeht. Es ist leicht zu übersehn, daſs in dem Falle, wo die beiden Winkel L und M des Prisma's gleich sind, FG unter eben dem Winkel gegen das Einfallsloth geneigt hervorgehen wird, unter welchem AB gegen das Einfallsloth geneigt war; dann aber muſs auch nothwendig FG ein weiſser Lichtstrahl seyn, so gut wie AB es war, indem von dem Grade der Brechbarkeit dann nichts abhängt. In jedem andern Falle, wo $M = \alpha'$ von $L = \alpha$ verschieden ist, erhält man für die durch CF und FG mit dem Einfallslothe gebildete Winkel, die ich $= \varphi^{IV}, \varphi^{V}$ nennen will, Werthe, die von μ abhängen, nämlich

$$\varphi^{IV} = \alpha' - \varphi''; \ \text{Sin.}\ \varphi^{V} = \frac{1}{\mu}\ \text{Sin.}\ \varphi^{IV} = \frac{1}{\mu}\ \text{Sin.}\ (\alpha' - \varphi'')$$

statt daſs $\text{Sin.}\ \varphi = \frac{1}{\mu}\ \text{Sin.}\ (\alpha - \varphi'')$ war; hier findet also für FG eine Zerspaltung in Farbenstrahlen statt, und nur in diesem Falle erhält das Bild bei G einige Färbung. Bei F wird aber wieder ein Theil des Strahls reflectirt, dieser geht bei K nach der Richtung KP hervor und giebt ein farbiges Bild. Um dieses näher nachzuweisen, will ich nur den Fall betrachten, da alle Winkel des Prisma's $= 60°$ sind und die Brechung so geschieht, daſs der mittlere Farbenstrahl in BC gleiche Winkel mit beiden Seitenflächen macht, oder daſs $\varphi' = \varphi'' = 30°$ ist; offenbar macht dann auch CF an F einen Winkel $= 30°$ mit dem Einfallslothe, und eben das ist bei K der Fall. Hier wird aber der Strahl zerstreut, indem der stärker gebrochene Strahl bei B eine kleinere Neigung gegen das Einfallsloth hat, als der mittlere Strahl, bei C eine ebenso viel gröſsere, als bei F eine ebensoviel kleinere und bei K eine ebensoviel gröſsere; ist aber der violette Strahl um $\Delta\varphi$ mehr als der gelbe bei K gegen das Einfallsloth geneigt, so vermehrt

die ungleiche Brechung diesen Unterschied, und KP giebt ein eben solches Farbenbild, wie CD. So geht also in diesem Falle ein zweites, matteres, aber sonst dem ersten an Divergenz der Strahlen gleiches Farbenbild hervor, dagegen bei ungleichen Winkeln des Prisma's die Divergenz verschieden ausfallen wird,
Fig. wie sich durch die Zeichnung der mittleren Strahlen ABCFKP
142. und der äuſsersten farbigen, die von B an in γc und δd oder in fφ, $\varkappa$k, πp zerstreut werden, noch genauer darstellen läſst.

Fallen zu gleicher Zeit parallele Sonnenstrahlen auf zwei Seiten des Prisma's, wie es im offenen Sonnenlichte der Fall
Fig. ist, so verdoppelt sich die Anzahl dieser Bilder. Dann ist der
143. einfallende Strahl GF mit AB parallel, und der erste nach TJ zurückgeworfene Strahl fällt beim gleichseitigen Prisma mit dem ersten farbigen Strahle CD parallel, wenn die Brechung des durch das Prisma gehenden Strahls am kleinsten ist, alsdann nämlich ist $ABN = 60° - GFN = DCM$, und da $MFJ = GFN$, so sind CD, FJ parallel.

An die Betrachtung dieser durch Zurückwerfung entstehenden Bilder knüpfen sich noch zwei Versuche, die man mit dem Prisma anstellen kann. Der erste zeigt, wenn man das
Fig. Prisma so dreht, daſs in C gerade die Totalreflexion zu ent-
142. stehn anfängt, daſs dann die violetten und blauen Strahlen eher, als die übrigen, in das durch Zurückwerfung entstehende Bild bei G übergehn, weshalb dann dieses Bild ein bläuliches Weiſs zeigt, das in sehr helles Weiſs übergeht, sobald endlich auch die gelben und rothen Strahlen die gänzliche Zurückwerfung erleiden.

Ein zweiter Versuch betriff den Farbenrand, der sich, wenn man Gegenstände durch das Prisma betrachtet, an der Grenze der durch Refraction sichtbaren Gegenstände zeigt. Legt man nämlich ein Prisma so vor sich hin, daſs die Kanten ungefähr senkrecht auf die Richtung sind, nach welcher zu man seinen Blick richtet, und läſst man durch ein offenes Fenster das Licht des hellen Himmels, am liebsten weiſser Wolken, damit die Farbe keine Störung mache, auffallen, so wird man bei etwas höherer oder tieferer Stellung des Auges leicht die Grenze der totalen Reflexion gewahr, die durch einen blauen Bogen bezeichnet ist[1]. Dieser Bogen wendet seine violette

1 Newtoni Optice. Lib. I. Pars. II. Exper. 16. Phil. Transact. 1809. 266.

Digitized by Google

Seite dem Beobachter zu, daran gränzt ein dunkelblauer und dann ein hellblauer Bogen, vom Gelb und Roth ist aber nur zuweilen eine schwache Spur sichtbar. Diesseits des Violett erkennt man noch die unter dem Prisma liegenden Gegenstände, jenseits des Bogens, wo auch der Glanz des gespiegelten Himmels lebhafter ist und so die Totalreflexion sich zu erkennen giebt, bemerkt man selbst die lichtvollsten unter dem Prisma befindlichen Gegenstände nicht mehr. Wenn man die Lage des Prisma's so wählt, daſs nur die Hälfte des Raumes, den der blaue Bogen einnehmen sollte, Licht vom hellen Himmel empfängt, die andere Hälfte aber von einem ganz dunkeln Körper beschattet wird, so sieht man da, wo die Verlängerung jenes blauen Bogens hinfallen sollte, einen rothen Bogen, an den gegen den Beobachter zu ein gelber Bogen grenzt, beide wie auf dunkelm Grunde und daher, wenn die unter dem Prisma befindlichen Gegenstände nicht sehr hell erleuchtet sind, bei dieser Anordnung des Versuches unscheinbarer als der blaue Bogen. Die Ursache, warum dieser Bogen die Grenze der totalen Reflexion bezeichnet, läſst sich, was die wichtigsten Umstände betrifft, leicht einsehn.
Das Auge in O erhält durch Zurückwerfung von der unteren Fig.
Seite des Prisma's die Strahlen CD, AV, BR, und wenn diese 144.
von weiſsen Wolken her einfallen, so sieht das Auge diese Spiegelung auch in D, wo die Totalreflexion noch nicht statt findet. Hier indeſs erhält das Auge O auch noch durch den Strahl ED, der gebrochen nach O gelangt[1], Licht von dem Gegenstande E und man sieht in dem Spiegelbilde des hellen Himmels auch die unter dem Prisma liegenden Gegenstände. Ist nun VO derjenige Strahl, der, nach der Stärke der Brechung violetter Strahlen, der erste gänzlich reflectirte ist, so heiſst das, von einem Puncte W unter dem Prisma können zwar noch die rothen, gelben, grünen, blauen Strahlen durch Brechung in V zum Auge O gelangen, aber die violetten nicht mehr, und dagegen werden aus dem Strahle AV noch die rothen, gelben, grünen, blauen Strahlen nach T

---

1 Die Brechung in den Oberflächen LM, LN habe ich hier nicht erwähnt; man kann den Versuch so einrichten, daſs die Strahlen diese Oberflächen fast senkrecht treffen, dann sind diese Brechungen ganz unbedeutend.

durchgelassen, die violetten aber nach O reflectirt. Befindet sich unter dem Prisma in W ein weiſser Körper, so sollte das Auge O diesen gelb oder grünlich (als Mischung aller Farben, das Violett allein ausgeschlossen) sehn und nach eben der Richtung OV den gänzlich reflectirten violetten Strahl des hellen Himmels empfangen; in den meisten Fällen aber wird W gegen das starke Licht des hellen Himmels zu wenig lichtvoll seyn, daher sieht man bloſs das mit dem gewöhnlich reflectirten Strahle gemischte Violett des total reflectirten violetten Strahls und folglich eine violette Begrenzung des durch gewöhnliche Zurückwerfung sichtbaren Himmels. Da der Winkel, welchen Ob mit dem Einfallslothe macht, gröſser ist, als es für OV der Fall war, so werden in ihm nicht bloſs die violetten, sondern auch die blauen Strahlen zurückgeworfen, und da aus der Gegend W nur noch wenigere Farbenstrahlen nach O gelangen, so stören diese den Eindruck, den das an das Violett grenzende Blau macht, fast gar nicht. Endlich in OR erlangt der Strahl eine solche Neigung, daſs alle Farbenstrahlen zurückgeworfen werden und daher hier das aus allen Farben zusammengesetzte Weiſs in dem gänzlich zurückgeworfenen Strahle erscheint. So muſs also eine violette, blaue, hellblaue Begrenzung des gewöhnlich gespiegelten Bildes hervorgehn, da wo dieses lichtvoll genug ist, um mehr als die gebrochenen Strahlen auf das Auge zu wirken. Kämen dagegen die Linien CD, AV, BR von einem vollkommen lichtlosen, ganz dunkeln Gegenstande her, so sähe das Auge in der Richtung OD den Gegenstand E noch mit allen Farbenstrahlen, der Gegenstand W sendet die violetten Strahlen nicht mehr zum Auge, sondern diese gehn höher hinaufwärts, als wir die Stellung O des Auges angenommen haben, und ein weiſser Gegenstand in W erscheint gelblichgrün; dieses ist noch mehr der Fall mit dem Gegenstande, den das Auge O nach der Richtung Ob sieht, so daſs hier die Begrenzung der durch Brechung sichtbaren Gegenstände in Orange und Roth übergeht.

Hiermit ist die ganze Erscheinung erklärt bis auf den in gewissen Fällen den blauen Bogen noch auſserhalb umgebenden höchst blassen rothen Bogen. Herschel[1] erklärt diesen

1 Phil. Transact. 1809. p. 273.

Digitized by Google

aus den unvollkommen durchgelassenen, also durch eine Brechung bei R von den untern Gegenständen zum Auge gelangenden Strahlen. Diese Erklärung scheint mir ungenügend, da dort, wie ich glaube, der Theorie nach keine rothen Strahlen eindringen können und ich mich überdies auch durch Versuche überzeugt habe, daſs ein unter R liegender rother Gegenstand durchaus keinen verstärkenden Einfluſs auf die Erscheinung hat. Was aber eine bessere Erklärung betrifft, so muſs ich zuerst bemerken, daſs der rothe Bogen durchaus nicht wesentlich zu der Erscheinung gehört, sondern zuweilen ganz fehlt, weshalb mir die Frage, ob hier wirklich objectiv ein Uebermaſs rother Strahlen von R ausgeht, oder ob diese Farbe bloſs als subjective hervorgeht, gar nicht unangemessen scheint. Ich habe die Strahlen, welche in der Richtung RHO zum Auge kommen, mit Rücksicht auf ihre Farbenzerstreuung bei H genau berechnet, finde aber keinen Grund, warum die rothen in irgend merklichem Uebermaſse vorhanden seyn sollten. Denn obgleich der Strahl HO sich aus den innerhalb des Glases getrennten Strahlen, einem rothen RH, einem mehr gebrochenen violetten rH u. s. w. zusammensetzt, so könnte doch in dem ungleichen Einfallswinkel, in der ungleichen Absorption verschiedener Farbenstrahlen im reinen Glase und in ähnlichen Ursachen kaum ein Grund zum Vorherrschen der einen Farbe liegen. Sollte aber die Farbe nicht eine subjective seyn können? — Mehrere Umstände scheinen mir dieses anzudeuten. Man sieht den rothen Bogen nicht, wenn man das Prisma ruhn läſst, und auch mit möglichst ruhendem Auge auf den blauen Bogen sieht, wogegen er fast immer erscheint, wenn man das Prisma so bewegt, daſs das Weiſs des hellen Himmels in die Stelle jenes Blau tritt, oder der blaue Bogen gegen den nicht durch Totalreflexion erscheinenden Raum zurückgerückt wird, oder wenn man statt dessen das Auge auf eine entsprechende Weise seine Richtung ändern läſst. Ferner, wenn man durch Drehung des Prisma's den blauen Bogen so vor dem Auge vorbeiführt, daſs er in die Stelle des durch Totalreflexion sichtbaren Raums hinein vorrückt, so sieht man den rothen Bogen nicht. Endlich bei einer ganz andern Erscheinung kann man auch einen rothen Bogen erhalten, den man wohl sicher als nicht objectiv ansehn muſs, nämlich wenn man bei der ganz gewöhnlichen Brechung im Prisma die blaue Begrenzung eines

dunkeln Gegenstandes betrachtet und dann Prisma oder Auge gehörig die Stellung ändern läſst, so geht oft genug (aber auch nicht immer) ein ähnlicher rother Bogen hervor. Es scheint mir daher, daſs dieser rothe Bogen eine bloſse optische Täuschung ist, und ich empfehle diese Erklärung wenigstens zu näherer Prüfung.

Der ältere Herschel hat diese Bogen als Grundlage zur Erklärung der *Newton'schen Farbenringe* angewandt, aber gewiſs mit Unrecht. Richtig und interessant ist seine Bemerkung, daſs jener blaue Bogen im Prisma sich in eine schöne Reihe von Farbenstreifen zerlegt, wenn das Prisma auf einem ebenen Glase mit der die Strahlen reflectirenden Seite fest angedrückt aufliegt; aber diese zarten, sehr schönen Farbenstreifen müssen nach den Principien erklärt werden, wie die Newton'schen Farbenringe und können wohl nicht als das einfachere Phänomen angesehn werden, um aus ihnen die gesuchte Erklärung zu entnehmen.

Das achromatische Prisma.

Wenn ein Lichtstrahl aus dem Prisma in Farbenstrahlen zerlegt hervorgeht, so kann man durch ein zweites gleichartiges die Farbenzerstreuung wieder aufheben, wenn die Seiten
Fig. 145. AB, CD parallel sind, und beide Prismen sich in BC berühren; aber dann ist mit der Farbenzerstreuung auch die ganze Brechung aufgehoben. Sind dagegen jene beide Prismen nicht von ganz gleicher Art, bewirken sie vielmehr eine ungleiche Farbenzerstreuung, so ist es möglich, nach der Brechung durch beide, bei gehörig bestimmter Form derselben, einen weiſsen, farbenlosen und dennoch von seiner ursprünglichen Richtung abgelenkten Strahl zu erhalten. Ein solches Prisma heiſst dann ein *achromatisches* oder *farbenfreies*.

Da wir nicht mehr als zwei Prismen anzuwenden pflegen, um den Achromatismus zu bewirken, so will ich auch hier
Fig. 146. keinen allgemeinern Fall betrachten. Es sey also LMN ein Prisma, dessen Brechungs-Index $=\mu$, MOP ein zweites, dessen Brechungs-Index $=\mu'$ und in Beziehung auf einen andern Farbenstrahl gehen diese Gröſsen in $\mu + \Delta\mu$, $m' + \Delta\mu'$ über.

Es sey ABCDEF der Weg des bei B, C, D, E gebrochenen

Strahls, der von C nach D durch die Luft zu der Fläche MO, die im Allgemeinen gegen MN geneigt ſeyn könnte, die ich aber im Folgenden, als mit MN parallel, annehme, übergeht; es ſey LNM $=\alpha$, OMP $=\alpha'$, und die bei B gebildeten Winkel des Strahls mit dem Einfallslothe ſollen φ und φ', bei C, φ'' und φ''', bei D, φ^{IV} und φ^{V}, bei E, φ^{VI} und φ^{VII} heiſsen. Es erhellet ſogleich, daſs $\varphi'+\varphi''=\alpha$ iſt, wenn die beiden Einfallslothe auſserhalb des Dreiecks NBC liegen, daſs $\varphi^{\text{IV}}=\varphi'''$ iſt, wenn MO mit MN parallel und daſs $\varphi^{\text{V}}+\varphi^{\text{VI}}=\alpha'$. Ferner iſt $\text{Sin.}\,\varphi'=\mu\,\text{Sin.}\,\varphi$, $\text{Sin.}\,\varphi''=\mu\,\text{Sin.}\,\varphi'''$, $\text{Sin.}\,\varphi^{\text{V}}=\mu'\,\text{Sin.}\,\varphi'''$, $\text{Sin.}\,\varphi^{\text{VI}}=\mu'.\ \text{Sin.}\,\varphi^{\text{VII}}$.

Die hier zu beantwortende Frage iſt nun die, wie muſs α' genommen werden, damit bei gegebnem Werthe von φ zwei ungleichfarbige Strahlen, die bei B einfällen, bei E parallel hervorgehn, oder damit, bei dem für dieſe Strahlen gegebnen Werthe von $\Delta\mu$ und $\Delta\mu'$, φ^{VII} keine Aenderung leide, wenn φ für beide einfallende Strahlen gleich, das heiſst $\Delta\varphi=0$ iſt. Obgleich die Differenzen von μ und μ' hier nicht ſo überaus klein ſind, ſo begnügt man ſich doch, ſie als Differentiale anzuſehn, und es wird ſich in einem nachher folgenden Beiſpiele zeigen, daſs dieſes erlaubt iſt, wenn dann $d\varphi=0$ iſt, ſo erhält man

$$d\varphi'=-d\varphi''=\frac{d\mu\ \text{Sin.}\,\varphi}{\text{Cos.}\,\varphi'}=\frac{d\mu}{\mu}\,\text{Tang.}\,\varphi',$$

$$d\varphi'''=\frac{d\varphi''\ \text{Cos.}\,\varphi''}{\mu\ \text{Cos.}\,\varphi'''}-\frac{d\mu}{\mu^2}\frac{\text{Sin.}\,\varphi''}{\text{Cos.}\,\varphi'''}$$

$$=-\frac{d\mu}{\mu^2}\,\frac{\text{Sin.}\,\alpha}{\text{Cos.}\,\varphi'\ \text{Cos.}\,\varphi'''};$$

$$d\varphi^{\text{V}}=-\frac{\mu'.\,d\mu}{\mu^2}\,\frac{\text{Sin.}\,\alpha}{\text{Cos.}\,\varphi'\ \text{Cos.}\,\varphi^{\text{V}}}+\frac{d\mu'}{\mu'}\,\text{Tang.}\,\varphi^{\text{V}};$$

$$d\varphi^{\text{VII}}=+\frac{d\mu}{\mu^2}\,\frac{\text{Sin.}\,\alpha.\ \text{Cos.}\,\varphi^{\text{VI}}}{\text{Cos.}\,\varphi'\ \text{Cos.}\,\varphi^{\text{V}}\ \text{Cos.}\,\varphi^{\text{VII}}}$$

$$-\frac{d\mu'}{\mu'^2}\,\frac{\text{Sin.}\,\alpha'}{\text{Cos.}\,\varphi^{\text{V}}\ \text{Cos.}\,\varphi^{\text{VII}}},$$

ſo daſs $\frac{d\mu}{\mu^2}\,\text{Sin.}\,\alpha\ \text{Cos.}\,\varphi^{\text{VI}}=+\frac{d\mu'}{\mu'^2}\,\text{Sin.}\,\alpha'\ \text{Cos.}\,\varphi'$ ſeyn muſs,

damit die Strahlen unzerſtreuet hervorgehn. Da $\varphi^{\text{VI}}=\alpha'-\varphi^{\text{V}}$, und φ^{V} noch ohne α' zu kennen berechnet wird, ſo iſt

$$\text{Tang.}\,\alpha' = -\frac{d\mu}{\mu^2}\left\{\frac{\text{Sin.}\,\alpha\ \text{Cos.}\,\varphi^{v}}{\frac{d\mu}{\mu^2}\,\text{Sin.}\,\alpha\ \text{Sin.}\,\varphi^{v} + \frac{d\mu}{\mu'^2}\,\text{Cos.}\,\varphi'}\right\}$$

oder $\text{Cotang.}\,\alpha' = -\,\text{Tang.}\,\varphi^{v} + \frac{d\mu'.\,\mu^2}{d\mu.\,\mu'^2}\;\frac{\text{Cos.}\,\varphi'}{\text{Cos.}\,\varphi^{v}\ \text{Sin.}\,\alpha}$.

Wenn alle Winkel so klein sind, daſs man Sinus und Tangente mit den Bogen verwechseln, dann aber auch $\text{Sin.}\,\alpha.\ \text{Sin.}\,\varphi^{v}$ als ein sehr kleines Product weglassen kann, so erhält man aus der Formel für $\text{Tang.}\,\alpha'$,

$$\alpha' = \frac{\alpha\,d.\,\frac{1}{\mu}}{d.\,\frac{1}{\mu'}}$$ und in diesem Falle würde von dem in sehr enge Grenzen beschränkten φ nichts abhängen.

Sollte bei so kleinem Winkel aus Flintglas und Wasser eine Verbindung zweier Prismen zu einem achromatischen gebildet werden, so hätte man $d\frac{1}{\mu} = 0{,}0068$, $d.\frac{1}{\mu'} = 0{,}0213$, für rothe und violette Strahlen und mit $\alpha = 2^\circ$ würde $\alpha' = 38'\,18'',6$ zusammengehören.

Um aber für gröſsere Winkel ein Beispiel zu geben, sey das erste Prisma ein Wasserprisma und $\alpha = 20^\circ$, das zweite ein Flintglasprisma; da es aber hier auf φ ankommt, so sey $\varphi = 15^\circ$, also da für die mittleren Strahlen $\frac{1}{\mu} = 1{,}33548$; $\varphi' = 11^\circ\ 10'\ 30''$; $\varphi'' = 8^\circ\ 49'\ 30''$; $\varphi''' = 11^\circ\ 49'\ 22''$; $\frac{1}{\mu'} = 1{,}64138$; $\varphi^{v} = 7^\circ\ 10'\ 15''$, findet man $\alpha' = 6^\circ\ 24'$.

Für den rothen und violetten Strahl findet man: $\varphi = 15^\circ$;

$$\varphi' = \begin{Bmatrix} 11^\circ\ 12'\ 13''. \\ 11\ \ \ 8\ \ 45. \end{Bmatrix},\quad \varphi'' = \begin{Bmatrix} 8\ 47\ 47, \\ 8\ 51\ 15 \end{Bmatrix},$$

$$\varphi^{v} = \begin{Bmatrix} 7^\circ\ 10'\ 34'', \\ 7\ \ \ 9\ \ 59. \end{Bmatrix}\varphi^{vi} = \begin{Bmatrix} -\ 0\ 46\ 34. \\ -\ 0\ 45\ 57. \end{Bmatrix}$$

$$\varphi^{vii} = \begin{Bmatrix} 1^\circ\ 15'\ 57'', \\ 1^\circ\ 15'\ 55''. \end{Bmatrix}$$

Die Vereinigung der äuſsersten Strahlen ist also fast vollkom-

Digitized by Google

men; es ist aber hierbei zu bemerken, daſs $\alpha' = \alpha \frac{d\frac{1}{\mu}}{d\frac{1}{\mu'}}$ 6° 23′ 6″ gegeben hätte, so daſs jene genauere Rechnung selbst hier beinahe erspart werden konnte.

Wenn man kein völlig genau die Farbenzerstreuung compensirendes zweites Prisma besäſse, so könnte man dadurch, daſs man den Winkel NMO $= \beta$ nicht mehr $= 0$ annähme, die Aufhebung der Farbenzerstreuung bewirken, und indem man die Winkel α, α' und β genau kannte, die Gröſse der die Farbenzerstreuung bewirkenden Aenderungen von μ und μ' bestimmen; indeſs da man andere Mittel hat, die Farbenzerstreuung für jede der beiden Substanzen genau zu bestimmen, ohne daſs es dazu der Combination zweier Prismen bedarf, so will ich dabei nicht verweilen[1].

Zur Geschichte des Prisma's

würde ich kaum etwas zu bemerken nöthig finden, wenn nicht das wenig bekannte Buch von Marcus Marci hier erwähnt zu werden verdiente. In Gebrauch ist auch früher schon das Prisma gewesen, und soll, nach den von Priestley angeführten Nachrichten wegen seiner Farben sehr theuer verkauft seyn. Theodorich, von dessen Buch Venturi Nachricht giebt[2], hat sich um die prismatischen Farben hervorzubringen, sechseckiger Krystalle bedient, aber ganz vorzuglich viel hat Marcus Marci sich mit dem Prisma beschäftigt, und schwerlich ist vor Newton irgend eine Untersuchung über das

---

1 Rochon hat unter dem Namen *Diasporometer* ein Instrument angegeben, vermittelst dessen die zur Herstellung des Achromatismus geeigneten Winkel zweier Prismen von verschiedenem Glase gemessen werden. Es besteht aus einer Art von Fernrohr, welches statt der Objectivlinse zwei zu runden Gläsern geschliffenen Prismen enthält, deren vorderes um die gemeinschaftliche Axe des Fernrohrs und der beiden Prismen gedreht werden kann, bis die paſslichsten Winkel beider gefunden sind. S. Rochon Recueil de Mémoires sur la mécanique et la physique. Mém. sur la mesure de la dispersion et de la réfraction.

2 Vergl. Art. *Regenbogen* und Ann. de Ch. et Ph. VI. 141.

prismatische Farbenbild mit mehr Fleiſs ausgeführt, als die von Marcus Marci[1]. Nach Montucla's Angabe[2] sollte man glauben, Marci habe die Entdeckungen Newton's schon 20 Jahre vor diesem gemacht; aber dies ist eine ganz unrichtige Ansicht. Marci hat allerdings die Erscheinungen, welche das gleichseitige Prisma im vollen Sonnenlichte (nicht im finstern Zimmer) darbietet, gut beschrieben; er hat die Bilder, welche durch Spiegelung an der Rückseite entstehn, von denen, die durch bloſse Brechung entstehn, unterschieden, und den Grund, warum jene ohne Farben sind und warum diese sich in verzerrter Form zeigen, gut angeben; aber den eigentlichen Ursprung der Farben im prismatischen Farbenbilde hat er nicht gefunden. Wenn man die Theoreme flüchtig ansieht, so sollte man freilich glauben, daſs seine Ansichten richtiger wären, aber bei genauerer Prüfung verschwindet diese Meinung. Er sagt z. B. im 12. Theorem, nur bei bestimmter Brechung werde das Licht in Farben verwandelt und die verschiedenen Farben sind die Erfolge verschiedener Brechungen, aber sein Beweis hiefür (weitläuftig unterbrochen durch die Widerlegung fremder Meinungen) ist folgender. Die Farbe wird durch Condensation in andere Farben verändert; das Licht der Sonne ist seiner Natur nach Farbe (denn kein Licht ist ohne irgend eine Farbe), also ist es auch jener Veränderung bei der Verdichtung unterworfen. Verdichtet aber wird es bei der Brechung, denn die Brechung geschieht bei dem Uebergange aus Luft in ein dichteres Medium, wo in gleichem Volumen mehr materielle Theile enthalten sind, also auch mehr Licht. Das Licht wird bei der Refraction in einen engern Raum gebracht und da die Condensation des Lichts die Farben, sowohl der Art, als der Intensität nach, ändert, so folgt, daſs diversae lucis refractiones causabunt colores diversos.

Ebenso scheint das 18. Theorem ein Newton'sches zu seyn. Es entseht bei einerlei Medium dieselbe Farbe nicht durch eine verschiedene Refraction und nicht aus derselben Refraction verschiedene Farben. Aber auch hier sind bloſs ebenso unbe-

---

1 Der Titel seines 1648 zu Prag gedruckten Buches ist: Thaumantias, Liber de arcu coelesti, deque colorum apparentium natura ortu et causis. Auctore Joanne Marco Marci. Med. Dr. et Prof.

2 Hist. des math. II. 517.

Digitized by Google

stimmte Behauptungen statt des strengen Beweises angeführt; die affectio lucis werde durch die Refractionswinkel bestimmt, ungleiche Winkel geben daher ungleiche Farben, denn wenn einerlei Farbe aus ungleicher Refraction hervorginge, so wäre sie mehr oder minder vollkommen. Im 19. und 20. Theorem wird gesagt, eine hinzukommende Reflexion und Refraction ändere die Art der Farbe nicht, aber im 28. Theor. wird dennoch demonstrirt, die Entstehung der Farben werde in der ersten Refraction nicht vollendet. Dieses letztere wird sehr unrichtig dadurch bewiesen, daſs im vierseitigen Prisma der durch die zweite, mit der Eintrittsfläche parallele Seitenfläche hervorgehende Strahl ungefärbt erscheint. Er giebt hiefür zwar den nicht unpassenden Grund an, die zweite Refraction verdünne den durch die erstere verdichteten Strahl, aber dennoch sieht er den Schluſs als gewiſs an, daſs die Entstehung der Farbe erst bei der zweiten (unter gehörigem Winkel geschehenden) Brechung vollständig werde. In dem folgenden Theorem sagt er, auch die zweite Brechung für sich allein vollende nicht die Farben-Erzeugung. Er bezieht sich da auf ein Experiment, das er schwerlich so kann angestellt haben, indem sich da Farben hätten zeigen müssen. Wenn das Prisma durch eine gegen die eine Seitenfläche Senkrechte durchschnitten werde, so müſste, (wenn die erste Refraction unnöthig wäre,) der nun senkrecht durch die erste Oberfläche eindringende Strahl eben die Farben beim Hervordringen geben, das sey aber gegen die Erfahrung; „si quidem nullos omnino colores tum observamus.“ Also ein Prisma, dessen Winkel = 90°, 60°, 30° sind, soll, wenn der Lichtstrahl die eine Seite senkrecht, die zweite Seite unter 30° Einfallswinkel trifft, keine Farben geben; — man kann kaum glauben, daſs das ein wirklich angestellter Versuch sey.

Wie Marci sich eigentlich die Entstehung der Farben gedacht habe, geht aus seinen vielen und sorgfältigen Rechnungen, bei denen er die jedem Einfallswinkel entsprechende Brechung als bekannt voraussetzt [1], nicht ganz deutlich hervor, er scheint aber in dem ungleichen Winkel, den die von ei-

1 In seiner Tafel ist das Brechungsverhältniſs ungefähr bei dem Einfallswinkel = 10°, = 1,32, bei 30°, = 1,30, bei 50°, = 1,25, bei 70°, = 1,17.

nem und vom andern Sonnenrande ausgehenden Strahlen mit dem Einfallslothe machen, den Hauptgrund der Ungleichheit, daſs nämlich das Spectrum am einen Rande roth, am andern violett ist, zu suchen. Das Licht wird Farbe durch Verdichtung; der purpurne Strahl geht durch Condensation der übrigen Farben hervor, also aus einem gerader einfallenden (magis recto) Strahle; der rothe Strahl (puniceus), als dem Lichte mehr verwandt, aus einem mehr geneigten[1]. Wenn nämlich das Prisma seinen brechenden Winkel ziemlich nach oben gekehrt hat, so ist das Farbenbild, welches die Sonne darstellt, oben roth, unten violett; jenes Roth geht also da hervor, wo vom untern Sonnenrande der Strahl unter einem etwas gröſsern Einfallswinkel auffällt, als der vom oberen Sonnenrande kommende, der den violetten Rand hervorzubringen scheint. Versuche im finstern Zimmer, (wie Montucla[2] irgendwo gelesen hat,) scheint Marci gar nicht angestellt zu haben, wenigstens habe ich in dem bedeutenden Theile des Buchs, den ich gelesen habe, nichts gefunden, das dahin deutete; alles scheint nur auf Versuche im vollen Tageslichte zu gehn.

Dies mag genug seyn von einem Buche, das für jene Zeit merkwürdig genug ist, aber doch den Gedanken, als lieſsen sich darin ähnliche Schlüsse finden, wie die von Newton, keineswegs rechtfertigt; ich hätte mich nicht so lange dabei aufgehalten, wenn nicht Montucla dem Buche mehr Werth beigelegt hätte, als ich gerechtfertigt finde[3].

Daſs das Sonnenbild durch das Prisma verlängert erscheine, hat Grimaldi schon bemerkt, aber keine weitern Schlüsse darauf gebaut. Newton's Untersuchungen zeigten bald nachher vollständig alles das, was oben angeführt ist, so daſs spä-

---

1 p. 111. 112.

2 *Montucla* beruft sich auf *Klügel's* Anm. zu Priestley's Gesch. d. Optik, wo ich aber nichts finde. Im *Marci* selbst habe ich aber bei wiederholtem Nachsuchen einen solchen Versuch, wie *Montucla* beschreibt, nirgends finden können. Ich vermuthe, daſs das 20. Theor. refractio superveniens radio colorato non mutat speciem coloris, — Anlaſs zu der Behauptung, M. habe ein solches Experiment angestellt, gegeben hat, aber dieses Theorem enthält etwas ganz anderes.

3 Vgl. auch Art. *Regenbogen* in dem Abschn. Geschichte d. Meinungen etc.

ter nur die Verbindung zweier Prismen zu einem achromatischen hinzugekommen ist und die Lehre vom Prisma nur unbedeutende einzelne Bereicherungen erhalten hat.

B.

Pumpe.

Plumpe; *Antlia*; Pompe; *Pump*.

Pumpen heiſsen im Allgemeinen diejenigen Maschinen, mit denen man vermittelst beweglicher Kolben in Stiefeln Flüssigkeiten sowohl hebt als auch drückt, um sie in Bewegung zu setzen und von einem Orte zum andern fortzuschaffen. Indem es aber zwei verschiedene Arten von Flüssigkeiten giebt, nämlich expansibele und tropfbare, als deren Repräsentanten man die Luft und das Wasser betrachten kann, so giebt es auch zwei Hauptarten von Pumpen, *Luftpumpen* und *Wasserpumpen*, wovon die erstern auf gleiche Weise für anderweitige Gasarten, als die letztern für sonstige tropfbare Flüssigkeiten in Anwendung kommen können. Die Luftpumpen gehören unter die wesentlichsten und gebräuchlichsten physikalischen Werkzeuge, und sind daher bereits ausführlich beschrieben[1], die Wasserpumpen dagegen beruhen auf sehr einfachen physikalischen Gesetzen und gehören zunächst in das Gebiet der Technologie oder der praktischen Maschinenlehre wegen des vielfachen Gebrauchs, den man in der Technik und Oekonomie von ihnen macht. Weil aber unser Werk auch von sonstigen Gegenständen der Mechanik ziemlich ausführlich handelt, so halte ich es für zweckmäſsig, eine etwas vollständigere Uebersicht der verschiednen Arten von Pumpen mitzutheilen, womit zugleich eine Angabe sonstiger zur Hebung und Förderung des Wassers dienender, den Pumpen verwandter Maschinen verbunden werden möge. Uebrigens verdienen die verschiedenen Bezeichnungen derselben, die meistens von den durch sie gehobenen Flüssigkeiten entlehnt sind, und wonach es hauptsächlich auch *Bierpumpen*, *Branntweinpumpen*, *Oelpumpen*, *Milchpumpen* (zum Entleeren der weiblichen Brüste) und andere giebt, nicht besonders berücksichtigt

1 S. Th. VI. Abth. 1.

zu werden, weil sie im Weſentlichen ihrer Conſtruction von gewöhnlichen Saug- oder Druckpumpen nicht abweichen.

Die Pumpen ſind im Ganzen zwar einfach, aber zugleich auch ſinnreich conſtruirte Maſchinen, die zwiſchen den einfachſten und den künſtlichſten Waſſerhebemaſchinen ungefähr in der Mitte ſtehn. Unter die einfachſten gehören die bloſsen Schöpfer oder kleinen, mit einer Handhabe verſehenen Zuber und die Eimer, die man bei gröſserer Tiefe des Waſſers vermittelſt eines Hakens an einer Stange oder an einem Seile herabläſst und gefüllt wieder heraufzieht. Zur Erleichterung pflegt man die Stange an dem längern Arme eines Waagebalkens (der ſogenannten Wippe) zu befeſtigen, deſſen kürzerer Arm mit bedeutenden Gewichten verſehn iſt, ſo daſs man die zum Heben des Eimers erforderliche Kraft vermindert, indem man ſie auf die beiden Operationen des Niederdrückens und Aufhebens der Stange vertheilt. Bei noch gröſserer Tiefe des Waſſerſtandes pflegt man zwei Eimer an einer Kette über eine Rolle herabzulaſſen, welche abwechſelnd auf- und niederſteigen; in einigen Fällen wickelt man dieſe Kette um eine horizontale Welle und bewegt dieſe vermittelſt einer Kurbel oder ſelbſt eines Tretraëders, wenn vieles Waſſer, wie z. B. in Feſtungen, aus groſsen Tiefen gehoben werden ſoll. Alle dieſe und ähnliche Vorrichtungen laſſen ſich leicht auf die einfachſten mechaniſchen Geſetze zurückführen.

Es giebt dreierlei Arten von Pumpen: Saugpumpen, Druckpumpen und vereinigte Saug- und Druckpumpen. Am gebräuchlichſten unter dieſen ſind die erſtern, die *Saugpumpen* (*Antlica ſuctoria; Pompe aſpirante; Sucking pump*), deren Gebrauch ſehr alt iſt, indem ſie zuverläſsig ſchon dem Heron von Alexandrien (210 v. C. G.) bekannt waren. Das Weſentliche ihrer einfachen Conſtruction beſteht in Folgendem. Das Rohr BCHG wird mit ſeinem untern Ende OPHG ins Waſſer geſenkt. Am untern Theile iſt daſſelbe mit vielen kleinen Löchern verſehn, damit das Waſſer durch dieſe eindringen kann, ohne etwa vorhandnen Schmuz mit ſich zu führen; noch beſſer iſt es aber, dieſe Röhren, hauptſächlich wenn ſie von Holz ſind, mit einem fein durchlöcherten kupfernen Seiher zu umgeben. An einer willkürlichen Stelle dieſer Röhre, jedoch weniger als 32 par. F. über dem Waſſerſpiegel und bei weitem am beſten unter dem Waſſerſpiegel ſelbſt, befindet

Fig. 147.

Digitized by Google

sich das eine nach oben sich öffnende Ventil. Auf dieſe Röhre wird eine andere ABCD geſetzt, welche jedoch auch ſelbſt bei hölzernen Brunnenſtöcken am beſten ſo weit von Kupfer gemacht wird, als das Spiel des Kolbens reicht. Letzterer JK iſt gleichfalls mit einem nach oben ſich öffnenden Ventile verſehn und an der Stange L befeſtigt, die vermittelſt des Schwengels auf- und abwärts gezogen wird. Das Spiel dieſer Maſchine iſt höchſt einfach. Angenommen, das Waſſer ſtehe im Rohre nur bis zur Höhe des Spiegels OP, ſo muſs die in demſelben befindliche Luft beim Heben des Embolus JK verdünnt werden, mithin gegen die Waſſerfläche OP einen geringern Druck ausüben, als die atmoſphäriſche Luft gegen die Fläche des äuſsern Waſſers äuſsert, weswegen die innere Waſſerſäule hierdurch in die Höhe gehoben wird. Das untere Ventil, in welcher Höhe es ſich befindet, hat zwar die von unten herauf drückende Luft durchgelaſſen, verſtattet ihr aber den Rückgang nicht, wenn man den Embolus wieder herabdrückt, wobei die zwiſchen beiden Ventilen befindliche Luft durch das obere entweicht. Durch Wiederholung dieſer Operation muſs alſo das Waſſer ſtets höher ſteigen und zuletzt das obere Ventil erreichen, wenn dieſes nicht höher über dem untern Waſſerſpiegel angebracht iſt, als der ganze atmoſphäriſche Luftdruck das Waſſer zu heben vermag, denn im Innern der Röhre kann auf keine Weiſe mehr als ein vollkommenes Vacuum exiſtiren, mithin die äuſsere Waſſerfläche nur durch einen einzigen atmoſphäriſchen Druck emporgetrieben werden, was eine Höhe von 31,7 par. Fuſs für 28 Z. Barometerſtand giebt[1]. Man wird jedoch allezeit beträchtlich unter dieſer Höhe bleiben, weil der Barometerſtand unter 28 Zoll herabſinkt, das durch Aufſaugen gehobene Waſſer Luft und Dämpfe entwickelt und die Ventile wohl nie abſolut dicht ſchlieſsen, meiſtens einen ſchädlichen Raum zwiſchen ſich laſſen und das obere Ventil durch die zu ſehr verdünnte Luft gar nicht mehr gehoben werden könnte. Auch bei einer ſehr vollendeten Ausführung des Mechanismus wird man nicht wohl über 28 par. Fuſs hinausgehn dürfen[2]. Daſs man übrigens die

1 Vergl. *Aërostatik*. Bd. I. S. 265.

2 Nach F. J. v. Gerstner Handbuch d. Mechanik Bd. II. S. 121. beträgt die übliche Höhe 24 öſterr. Fuſs.

Kolbenstange L mit der Hand oder vermittelst eines ungleich-armigen Hebels bewegen könne, verdient nur beiläufig erwähnt zu werden; am vortheilhaftesten sind die gemeinen, unten mit einem schweren Gewichte belasteten Brunnenschwengel, die pendelartig hin und her geschwungen werden.

Da in sehr vielen Fällen das Wasser höher als bis 28 F. gehoben werden muſs und auch diese Höhe schon eine vorzügliche Genauigkeit des Mechanismus erfordert, so verfährt man sicherer, wenn man das obere Ventil tiefer herabsenkt, weil hierdurch ohnehin die zu überwindende Last um nicht mehr vergröſsert wird, als das Gewicht der hiernach erforderlichen Verlängerung der Kolbenstange beträgt. Insbesondere muſs der schädliche Raum berücksichtigt werden, welcher sehr leicht zwischen und in beiden Ventilen vorhanden ist. Wäre z. B. das Wasser bereits bis 16 par. Fuſs gehoben und würde die unter dem obern Ventile befindliche Luft durch das Aufziehn des Kolbens nicht stärker als bis zur Hälfte verdünnt, beim Niedergange desselben aber wieder bis zur Dichtigkeit der atmosphärischen Luft gebracht, so würde das fortgesetzte Kolbenspiel ein vergebliches seyn, weil der Druck einer 16 F. hohen Wassersäule und der bis zur Hälfte verdünnten atmosphärischen Luft im Innern der Röhre dem Drucke der ganzen Atmosphäre auſserhalb derselben das Gleichgewicht halten. Dieser schädliche Raum wird am besten vermieden, wenn der herabgehende Embolus dem untern Ventile möglichst nahe kommt. Am sichersten ist es jedoch, die Kolbenstange zu verlängern und das Wasser mehr durch Hebung als durch Saugen in die Höhe zu fördern, denn wenn der Kolben und dessen Stange hinlänglich stark sind und die erforderliche Kraft angewandt wird, so kann hierdurch das Wasser zu jeder beliebigen Höhe gehoben werden. Bei sehr tiefen Brunnen und den Bohrlöchern der Salinen geschieht dieses auch wirklich bis zu 500 und mehr Fuſs Höhe, in den Bergwerken dagegen bringt man mehrere Saugpumpen über einander an, die den Namen *Kunstsätze* erhalten und von denen jede folgende dasjenige Wasser aus einem eigenen Kasten in die Höhe fördert, was die nächst niedrigere in diesen ausgegossen hat. Es gewährt dieses in den Fällen, wenn die Röhren ohnehin von Holz gemacht werden, den Vortheil, daſs nicht die Last der ganzen Wassersäule gegen die tiefsten Theile der Röhre drückt und daſs man gleich-

Digitized by Google

zeitig auch das in ungleichen Höhen sich anſammelnde Waſſer in die geeigneten Kaſten leitet, um es mit dem aus gröſsern Tiefen vereint wegzuſchaffen, ohne es zuvor bis zum tiefſten Puncte herabfließen zu laſſen.

Beim Niedergehn des Embolus wird kein Waſſer gehoben und der Ausfluſs deſſelben müſste alſo während dieſer Zeit aufhören. Indeſs iſt die Ausfluſsöffnung in der Regel ſo klein, daſs das Waſſer im Pumpenſtocke bis zu einiger Höhe über dieſelbe gehoben wird und daher ein anhaltendes Ausflieſsen, jedoch in ungleicher Menge, ſtatt findet. Auſserdem pflegt man zuweilen in der Höhe der Ausfluſsöffnung einen weitern Behälter anzubringen, in welchem ſich das Waſſer ſammelt und aus ihm dann in faſt gleichbleibender Menge abflieſst. Die Menge des gehobnen Waſſers läſst ſich hiernach leicht finden, indem ſie dem Kubikinhalte eines Waſſercylinders gleich iſt, welchen man erhält, wenn man den Querſchnitt des Stiefels, worin ſich der Embolus bewegt, mit der Höhe ſeines Hubes multiplicirt und das Product durch die Zahl der Kolbenhube in einer gegebnen Zeit vervielfacht, wobei jedoch auf einigen Verluſt wegen mangelhaften Schlieſsens der Maſchinentheile gerechnet werden muſs. Iſt die Kraft zu finden, welche erfordert wird, um vermittelſt des Kolbens das Waſſer zu heben, ſo darf man nur berückſichtigen, daſs auf die obere Fläche des Embolus die geſammte über ihm ſtehende Waſſerſäule bis zur Ausfluſsmündung (wenn das Waſſer nur bis zu dieſer ſteigt) und die atmoſphäriſche Luft drückt, letztere aber zugleich auch auf den äuſseren Waſſerſpiegel oder, was einerlei iſt, gegen die untere Fläche deſſelben. Dieſe beiden gleichen Gröſsen würden ſich einander aufheben, wenn nicht der äuſsere Druck um ſoviel vermindert würde, als das Gewicht der durch Saugen gehobenen Waſſerſäule beträgt, welche Gröſse daher der zu hebenden Laſt hinzuaddirt werden muſs. Man kann demnach, wie es gewöhnlich geſchieht, entweder beide entgegenſtehende Gröſsen addiren, oder einfacher nur die Differenz beider, die durch die untere Waſſerſäule gegeben iſt, hinzuaddiren. Indem aber der hydroſtatiſche Druck des Waſſers der Baſis multiplicirt mit der Höhe gleich iſt, ſo ſey die Höhe der Waſſerſäule unter dem Embolus $= h'$, über demſelben $= h$, der Halbmeſſer des Embolus $= r$, und dann iſt die zum Heben erforderliche Kraft $K = r^2 \pi (h + h')$

oder, wenn $h + h' = H$ gesetzt wird, $K = r^2 \pi H$. Hierzu muſs dann noch das Gewicht des Kolbens und der Stange, desgleichen der Reibungs-Coefficient addirt werden, wenn man das Trägheitsmoment des in Bewegung zu setzenden Wassers und der Maschinentheile, desgleichen den Widerstand durch die Adhäsion des Wassers an die Wandungen der Pumpenstöcke vernachlässigt[1]. Beim Herabgehn ist bloſs die Reibung des Embolus und der Widerstand des durch das obere Ventil dringenden Wassers zu überwinden, welche jedoch bei hohen Pumpenstöcken durch das Gewicht des Embolus und hauptsächlich der Kolbenstange bei weitem überwogen werden. Bei gemeinen Pumpbrunnen vernachlässigt man diese Ungleichheit der beim Aufgange und Niedergange des Kolbens erforderlichen Kraftäuſserung, sollen die Pumpen aber insbesondere durch Maschinen mit stets gleichbleibendem Kraftaufwande betrieben werden, so wird zum Heben ein Hülfsgewicht, meistens ein Kasten mit Steinen, angewandt, dessen Gewicht die Hälfte der zu hebenden Last beträgt, so daſs bei ungefähr gleicher Reibung beim Auf- und Niedergange des Kolbens stets die Hälfte der ganzen zu wältigenden Last überwunden wird. Indem aber endlich die erforderliche Kraft dem Flächeninhalte des Querschnitts durch die Axe des Embolus multiplicirt mit der Höhe der zu hebenden Wassersäule proportional ist und mit Rücksicht auf die aufzuwendende Zeit mit der Höhe, bis wohin der Embolus gehoben wird, und der Zahl der Hebungen in einem gegebenen Zeitraume wächst, die Menge des gehobenen Wassers aber gleichfalls dem Flächeninhalte jenes Querschnitts, desgleichen der Höhe und Anzahl der Hube in einer gegebenen Zeit proportional ist, so folgt, daſs bei gleichen Hebungshöhen die Menge des geförderten Wassers dem erforderlichen Kraftaufwande proportional seyn muſs und, wenn dieses nicht statt findet, eine fehlerhafte Construction der Maschinentheile als Ursache hiervon erscheinen kann[2].

---

1 Vergl. Parent Recherches de physique et de math. Par. 1700. Belidor Architect. Hydr. L. III. ch. 3. §. 919 ff. Karsten Lehrbegriff d. ges. Math. Bd. V. Unten wird noch ein in Zahlen berechnetes Beispiel mitgetheilt werden.

2 Die von Brisson im Dict. rais. de Phys. Art. *Pompe aspirante* mitgetheilte und daraus von Gehler Bd. III. S. 797. aufgenommene Er-

Von den Druckpumpen, den einfachen und den mit einem Saugwerke verbundenen, ist bereits in einem eigenen Artikel gehandelt[1] und ich füge daher nur noch die Beschreibung eigenthümlich construirter Saugpumpen hinzu, die auch mit dem besondern Namen *Hebungspumpen* (*lifting pump*) von den Engländern bezeichnet werden und bei gröſsern Anlagen sehr gebräuchlich seyn sollen[2]. Sie bestehn aus einem Stiefel ABCD, in Fig. 148.
dessen oberem Ende sich das Ventil E befindet, unter welchem der gleichfalls mit einem Ventile versehene Kolben F an der Stange Z beweglich ist. Diese Kolbenstange ruht auf einem Querbalken XY und wird vermittelst der zwei, bei T in eine vereinigten Stangen gehoben und niedergedrückt. Das etwas seitwärts gekrümmte und dann vertical aufsteigende Steigrohr CAV wird durch den bloſsen Anblick der Figur klar, ebenso wie der ganze Mechanismus der Maschine, welcher sich im Wesentlichen von dem gewöhnlichen nur dadurch unterscheidet, daſs bei ihm das untere Ventil durch Umkehrung der Lage des Embolus beweglich ist. Man bringt ebendenselben auch bei der vereinten Saug- und Druckpumpe in Anwendung, welche Construction aus der bloſsen Ansicht der Zeichnung voll- Fig. 149.
kommen deutlich wird. Bei dieser ist der Embolus ohne Ventil, wie bei den Druckpumpen allgemein; auch geht aus den Krümmungen der Röhren beider beschriebener Pumpen hervor, daſs dieselben von Guſseisen verfertigt sind, indem man gegenwärtig bei neuen Anlagen schwerlich andere wählen wird, weswegen auch die Art ihrer Zusammenfügung in der Zeichnung angedeutet ist.

Die hier mitgetheilten einfachen Constructionen lassen sich auf so vielfache Weise abändern und mit einander verbinden,

---

zählung, daſs eine Pumpe in Spanien durch bloſses Saugen Wasser über 32 par. F. hoch gehoben habe, glaube ich nur gelegentlich erwähnen zu dürfen. Das ganze Problem kommt darauf hinaus, daſs eine theilweise aus Luft und Wasser bestehende Säule allerdings auf eine solche Höhe gehoben wurde, und ist der oft vorkommenden Erscheinung ähnlich, daſs das Wasser in den Schenkeln communicirender Röhren eine ungleiche Höhe erreicht, wenn sich in dem einen abwechselnde Schichten Luft und Wasser befinden, in dem andern aber eine nicht unterbrochene Wassersäule.

1 Art. *Druckpumpe*. Bd. II. S. 622 ff.

2 Robison Mechanical philosophy. T. II. p. 651.

daſs nach Robison's Urtheil die Beschreibung aller einzelnen einen ganzen Band füllen würde. Es wird daher, insbesondere hier, genügen, bloſs einige wenige Modificationen namhaft zu machen. Bei den Druckpumpen kann auf eine ähnliche Weise, als dieses bei den hydraulischen Pressen zur Erhaltung einer gröſseren Gewalt geschieht, der Embolus durch einen Cylinder ersetzt werden, welcher sich in einer Stopfbüchse wasserdicht bewegt. Zur leichtern Uebersicht dieser Einrich-
Fig. 150. tung sey OPQ dieser genau abgedrehte Cylinder, M das eine, N das andere Ventil und DC die Stopfbüchse. Letztere ist wesentlich und wird so construirt, daſs das obere Ende des Pumpenstocks mit einem hervorstehenden Rande versehn ist, um vermittelst durchgehender Schrauben die Theile der Stopfbüchse festzuschrauben. Auf den hierdurch gegebenen flachen Ring werden zwei Lederscheiben gelegt, welche in einer Mischung aus gleichen Theilen Oel und Unschlitt nebst etwas wenigem Geigenharz getränkt und in der Mitte genau rund durchbohrt sind. Durch die Oeffnung wird der Cylinder mit Gewalt gepreſst, so daſs die Ränder der Lederscheiben sich herabwärts biegen, dann wird ein metallener Ring, welcher bequem über den Cylinder herabgeht, darauf gelegt, über diesen abermals zwei gleiche Lederscheiben, deren Ränder beim Herabschieben derselben über den Cylinder von oben her sich aufwärts biegen, und über diese wird der obere Ring gelegt, welcher mit Oeffnungen versehn ist, um vermittelst hindurchgesteckter Schrauben die Lederscheiben festzupressen, wodurch dann ein vollständig wasserdichter Verschluſs erzeugt wird. Diese Vorrichtung, die durch Samuel Morland erfunden worden seyn soll[1], ist ungleich dauerhafter und sicherer, als die Anwendung eines gewöhnlichen Embolus, und kann auch so modificirt werden, daſs der Cylinder von unten nach aufwärts oder in horizontaler Richtung bewegt wird. Statt der Lederscheiben kann auch Hanf mit gleicher oder wohl noch gröſserer Sicherheit zur Liederung benutzt werden. Es wird nämlich der
Fig. 151. Stiefel an seinem obern Ende bei dd inwendig so ausgedreht, daſs der hervorstehende Theil eine schräge Fläche bildet. Der Cylinder A wird dann mit Hanf, in Unschlitt mit Oel zu gleichen Theilen und etwas Colophonium getränkt, umwickelt, in

1 Robison Mech. Phil. T. II. p. 667.

Digitized by Google

den Stiefel gesteckt und eine Büchse, die sich willig über ihm bewegt, unten aber gleichfalls schräg ausgedreht ist, darüber geschoben. An ihrem obern Rande ist diese Büchse mn mit einem Ringe versehn, welchen man vermittelst einiger Schrauben auf dem hervorstehenden Rande op des Stiefels festschrauben kann. Werden diese Schrauben angezogen, so bildet der um den Cylinder gelegte Hanf in der gebildeten Vertiefung einen Wulst bc um den Cylinder, in welchem er luft- und wasserdicht auf- und abwärts bewegt werden kann.

Aehnliche, aber lange Cylinder lassen sich auch so einrichten, daſs sie sich ohne Reibung bewegen und das Wasser durch ihr bloſses Einsenken heben, wie bei der oben Bd. II. S. 628. beschriebenen Pumpe geschieht; allein vermittelst solcher Maschinen kann das Wasser nur bis zu geringen Höhen gehoben werden, und die Reibung ist bei guter Arbeit nicht so bedeutend, daſs man sie bei solchen Anlagen ganz zu vermeiden sich bemühn sollte. Eine höcht einfache, aber nicht dauerhafte Pumpe mit sehr geringer oder fast gar keiner Reibung besteht aus einer Röhre von willkürlicher Weite und einem am untern Ende unter dem Wasser angebrachten Ventile. In dieser Röhre ist ein cylindrischer Stab auf- und abwärts beweglich, auf dessen Grundfläche in der Mitte eine runde lederne Scheibe von angemessenem Flächeninhalte festgeschraubt wird. An dem Rande der Scheibe sind einige Fäden befestigt, deren Enden an der Stange in der erforderlichen Höhe auf eine solche Weise festgeknüpft sind, daſs die aufwärts gezogene Scheibe einen abgekürzten Kegel bildet. Zieht man die Stange aufwärts, so entfaltet sich die Scheibe, legt sich an den innern Raum der Röhre und der über ihr befindliche Wassercylinder wird gehoben, drückt man dagegen die Stange herab, so faltet sich die Scheibe zusammen, läſst das Wasser neben ihrem Rande vorbei und durch den Wechsel dieser Bewegungen kann das Wasser in die Höhe gefördert werden.

Robison theilt die Beschreibung einer Pumpe ohne Reibung mit, welche der von Gosset und de la Deuille nach der Angabe von Belidor[1] sehr ähnlich und zur Hebung einer groſsen Menge von Wasser auf eine geringe Höhe ausnehmend

1 Architect. Hydr. T. II. p. 130.

brauchbar befunden worden ist. Sie besteht aus einem gemeinen
Fig. runden oder auch vierkantigen Kasten von Holz ABCD, in des-
152. sen unterm Ende sich ein Bret mit einem Ventile befindet. Ueber der Oeffnung des Ventils E wird ein Sack aus doppeltem Segeltuch mit zwischenliegendem Leder genagelt, welcher etwa 6 Zoll im Durchmesser hat und in Absätzen von gleichfalls gegen 6 Zoll durch hölzerne Reife ff, ff, ff, ... ausgespannt ist. Das obere Ende desselben ist wieder an ein mit einem in seiner Mitte befindlichen Ventile F versehenes Bret genagelt, welches durch die beiden in zwei Löchern desselben befestigten Enden des Bügels, worin die Kolbenstange G ausläuft, auf- und abwärts bewegt wird. Drückt man den Sack nieder, so wird sein Volumen vermindert und das eingeschlossene Wasser entweicht durch das Ventil F, beim Aufziehen dagegen wächst sein Volumen, er saugt Wasser durch das Ventil E ein und treibt das im Kasten befindliche aus. Die Anwendung des Schafleders zwischen den beiden Lagen Segeltuch scheint mir schwierig, mit wässerdichter Leinwand würde aber die Maschine viel leisten.

Perkins[1] hat eine Pumpe bekannt gemacht und patentisiren lassen, welche sowohl bei Brunnen als auch auf Schiffen gebraucht, zugleich zur Bewässerung und als Feuerspritze angewandt werden kann, dabei aber den Vortheil gewährt, daſs der etwa gehobene Sand in einen unteren erweiterten Theil des Stiefels zurückfällt, um die Ventile nicht zu beschädigen, was namentlich für Schiffspumpen wesentlich ist, damit sie nicht im Augenblicke der Gefahr den Dienst versagen. Der
Fig. Stiefel A ist wie gewöhnlich geformt, hat aber unten eine (in
153. der Figur nicht dargestellte) Erweiterung zur Aufnahme des Sandes und kleiner Steinchen. Das untere Ventil F ist von konischer Form und mit zwei Klappen versehn; eben so hat das obere E gleichfalls zwei Klappen und die Kolbenstange ist von einem hohlen Cylinder umgeben, welcher sich in einer Stopfbüchse nur bis an den aufgeschraubten Ring b b luftdicht bewegt, um beim Ziehen desselben vermittelst der bloſsen Hand nicht zu hoch gehoben zu werden. Das geförderte

---

1 London Journ. of Arts and Sc. Vol. II. N. 7. Bulletin de la Soc. d'Encouragement de l'industrie nat. XXme ann. N. 203. Daraus in Jahrbücher des Wiener polyt. Instituts. Bd. XIII. S. 304.

Waſſer fließt aus dem Rohre D aus, an deſſen Ende eine Spitze oder ein Schlauch angebracht wird, wenn man die Pumpe als Feuerſpritze gebrauchen will, in welchem Falle dann der Windkeſſel C von weſentlichem Nutzen iſt.

Unter den verſchiedenen Pumpen kommen die zur Förderung des Waſſers aus gewöhnlichen Brunnen dienenden am meiſten in Anwendung. Weil aber die gebräuchlichen hölzernen Pumpenſtöcke ſowohl wegen des Verfaulens des Holzes als auch wegen der Mangelhaftigkeit des Baues der Kolben (auch Schuhe genannt) und ihrer Liederung unabläſſige Reparaturen erfordern, ſo iſt es weit vortheilhafter, die anfänglichen gröſseren Koſten nicht zu ſcheuen und alle Maſchinentheile aus Metall verfertigen zu laſſen. Zu den Röhren wählt man am zweckmäſsigſten guſseiſerne oder bleierne[1], wenn man den geringen Antheil von Bleikalk nicht achtet, den die letzteren dem Waſſer mittheilen, der Stiefel und die Ventile aber werden am beſten aus Kupfer, Meſſing oder Glockenmetall verfertigt. Der Pumpenſchwengel und das Ausguſsrohr befinden ſich in der Regel über dem Brunnen, man kann jedoch beide vereint oder getrennt in beliebiger Entfernung vom Brunnen anbringen. In letzterem Falle muſs man in einer Höhe von höchſtens 25 Fuſs über dem Waſſerſpiegel des Rohr rechtwinklig umbiegen und horizontal oder in ſo geringer Neigung, daſs die ganze verticale Höhe über dem Waſſerſpiegel die angegebene Höhe von 25 Fuſs nicht überſteigt, nach dem erforderlichen Orte hinführen und dort mit dem Stiefel in Verbindung bringen. Die Pumpe kann eine Saugpumpe oder eine Saug- und Druckpumpe ſeyn und in beiden Fällen kann die Ausguſsröhre an dem nämlichen Orte angebracht werden, wo ſich der Brunnenſchwengel befindet, oder man kann von dieſem Orte aus abermals ein Rohr dahin führen, wo man den Ausfluſs verlangt. Für die Fälle ſolcher Leitungen ſind die bleiernen Röhren vorzüglich geeignet, weil ſie ſich ſo leicht nach jeder Richtung biegen laſſen; jedoch gewähren die thönernen unter geeigneten Umſtänden den Vortheil gröſster Reinlichkeit und unvergänglicher Dauer.

Um für die ſo oft vorkommenden Fälle dieſer Art mindeſtens an einem Beiſpiele zu zeigen, wie die Berechnungen

---

1 Vergl. Art. *Röhren.*

anzustellen sind, nehme ich an, es sey eine Pumpe für einen Brunnen einzurichten, bei welchem die lothrechte Höhe vom Waſserſpiegel bis zur Mündung der Ausguſsröhre 38 par. Fuſs betragen möge. Im Allgemeinen ist die Aufgabe, das Verhältniſs der erforderlichen Kraft und der Zeit zu der geförderten Waſsermenge darzustellen, indem sich nach allgemeinen mechanischen Gesetzen von selbst versteht, daſs in längerer Zeit bei gleichbleibendem Kraftaufwande und in gleicher Zeit durch gröſseren Kraftaufwand mehr Waſser gefördert werden kann. Für einen mittlern Fall nehme ich an, der Stiefel bestehe aus Kupfer, welches wegen seiner Stärke und Dauerhaftigkeit für diesen Zweck wohl am geeignetsten seyn möchte. Derselbe sey ferner mit der in Fig. 151. dargestellten Vorrichtung versehn, daſs statt des Kolbens ein über einen eisernen Dorn getriebener Cylinder von Meſsing diene, welcher nach Belieben entweder von unten aufwärts gehoben oder herabgedrückt werden kann; in beiden Fällen aber ist die Pumpe eine vereinte Saug- und Druckpumpe. Der Stiefel möge ferner 20 F. über dem Waſserſpiegel entweder im Brunnen selbst, etwa in einer horizontalen eingemauerten Steinplatte, oder in der Entfernung von demselben an seinem Orte befestigt seyn. In beiden Fällen ist also bei einer Bewegung des Kolbens eine Waſsersäule von 20 F. Höhe zu heben, beim Rückgange desselben eine von 18 F. Höhe empor zu drücken; die für eine jede dieser Bewegungen erforderliche Kraft, die dem Wesen nach gleich ist, verhält sich also wie 20 zu 18, und aus der Berechnung der einen ergiebt sich also auch die Berechnung der andern, weswegen ich nur die erstere wähle.

Der bewegliche Cylinder habe einen Durchmeſser von 2 par. Zollen, so beträgt, wie weit auch das herabgehende Rohr seyn möge, wenn nur seine Engigkeit die freie Strömung des Waſsers nicht erschwert, die zu hebende Waſsersäule nach der Formel $r^2 \pi h$, wenn r den Halbmeſser, π die Verhältniſszahl des Kreisumfangs zum Durchmeſser und h die Höhe bezeichnet, die zu hebende Waſsersäule 753,99 Kub. Zoll, und wiegt, den Kub. Fuſs Waſser = 70 ℔ angenommen, $\frac{753,99 \times 70}{1728} = 30,543$ ℔. Für die verticale Bewegung des Cylinders bei jedem Zuge werden 8 Zoll angenommen, und wenn dann für die Stopfbüchse 2 Z. und noch 1 Z. Ueberschuſs

zugesetzt werden, damit bei möglicher etwas höherer Hebung des Cylinders sein unterer Rand nie in die Stopſbüchse komme, so beträgt sein Inhalt bei 2 Z. Durchmesser und 11 Zoll Höhe 34,56 Kub. Zoll. Die Höhe der Kolbenstange betrage 18 Fuſs und ihr Querschnitt 0,75 Zoll, so ist ihr Inhalt 162 Kub. Zoll, und es sind also im Ganzen $162 + 34,56 = 196,56$ Kub. Zoll Metall zu heben, deren Gewicht, wenn man das spec. Gewicht hoch $= 8$ annimmt, $\frac{196,56 \times 8 \times 70}{1728} = 63,7$ ℔ beträgt. Die Summe der zu hebenden Last beträgt demnach $63,7 + 30,543 = 94,243$ ℔, und wenn die Reibung der Maschinentheile zu $\frac{1}{3}$ der Last angenommen wird, im Ganzen $94,243 + 31,4 = 125,6$ ℔. Die beim Niedergehn des Embolus emporzudrückende Wassersäule beträgt nur 18 F. und wiegt also 27,5 ℔. Rechnen wir die für die Reibung so eben gefundene Gröſse hinzu, so giebt dieses im Ganzen nur 58,9 ℔, folglich da der Embolus mit der Stange ein Gewicht von 63,7 ℔ hat, die herabwärts drükken, so ist ein Ueberschuſs an Kraft von 4,8 ℔ vorhanden. In diesem Falle würde also erforderlich seyn, ein Gegengewicht von 65,2 ℔ anzubringen, wonach dann, ohne Rücksicht auf die hierdurch vermehrte Reibung, beim Aufziehn $125,6 - 65,2 = 60,4$ ℔ zu heben, beim Niedergange aber $58,9 - 63,7 + 65,2 = 60,4$ ℔ emporzudrücken wären. Weil endlich eine Wassersäule von dem angenommenen Inhalte bei 20 Fuſs Höhe 30,543 ℔ wiegt, so beträgt jeder Fuſs nahe genau 1,5 ℔, und das Wasser könnte also noch über 36 F. höher hinaufgedrückt werden, wenn ohne Gegengewicht, aber mit Beibehaltung der übrigen angegebenen Gröſsen die beim Aufziehn und Niederdrücken anzuwendenden Kräfte einander gleich seyn sollten. Wollte man zur Förderung einer gröſseren Wassermenge den Durchmesser des Cylinders vermehren, so würde es auf keine Weise erforderlich seyn, diesen massiv zu machen, vielmehr würde ein hohler aus Messing oder Kupfer von höchstens 2 Lin. Metalldicke vollkommen genügen, so daſs auf jeden Fall sein Gewicht nicht über die angenommene Gröſse hinausgehn könnte, selbst wenn sein Durchmesser auf das Doppelte vermehrt wäre und also die vierfache Wassermasse gehoben würde. In diesem Falle betrüge für einen Cylinder von 4 Zoll Durchmesser die bis 20 Fuſs Höhe zu hebende Wassersäule 122,172 ℔, das Gewicht der Stange

und des Embolus 63,7 ℔, zusammen 185,872 ℔, und wenn auch hierbei für Reibung ¼ der ganzen Last gerechnet wird, die gesammte zu hebende Last 247,77 ℔; dagegen die emporzudrückende Wassersäule 110 ℔ und die nämliche Gröſse für den Widerstand gerechnet, im Ganzen 171,9 ℔, wovon nach Abzug des Gewichts der Stange und des Embolus mit 63,7 ℔ noch 108,2 ℔ bleiben. Es müſste demnach unter diesen Umständen ein Gegengewicht von 69,8 ℔ angebracht werden, worauf dann $108{,}2 + 69{,}8 = 178$ und $247{,}8 - 69{,}8 = 178$ sich einander das Gleichgewicht halten.

Man sieht aus dieser bis ins Einzelne durchgeführten Berechnung, daſs die Resultate durch die verschiedenen gegebenen Bedingungen bedeutend abgeändert werden und man daher diese letztern für jeden einzelnen gegebnen Fall gehörig berücksichtigen müsse. Die Bewegung der Kolbenstange geschieht durch die bekannten Brunnenschwengel oder durch vertical aus dem Boden aufsteigende Stangen, in beiden Fällen so, daſs die angewandte Kraft vermittelst der Wirkung des längern Hebelarms auf den kürzern bedeutend vermehrt wird. Gewöhnlich ist die Bewegung der Stange wegen des vom kürzern Hebelarme durchlaufenen Bogens nicht stets vertical, was wegen der Länge der Stange von keinem bedeutenden Einflusse ist, bei genauer Arbeit der ganzen Maschine aber besser vermieden wird und durch folgende, für eine vertical aufgerichtete Stange geeignete, auf gewöhnliche Brunnenschwengel leicht anwendbare Vorrichtung ohne Schwierigkeit beseitigt wird.
Fig. 154. Es sey ab die cylinderförmige oder sonst gestaltete Welle, am besten von Guſseisen, die mit ihren Zapfen α und β in fest eingelassenen Hülsen um ihre Axe leicht beweglich ist und erforderlichen Falls leicht so weit verlängert werden kann, als ihre Festigkeit gegen die Drehung gestattet, wenn man die Bewegung des Arms dc vom Brunnen zu entfernen wünscht. Will man die Entfernung der Kolbenstange von der verticalen Ebene nicht vermeiden, so genügt es, bei m einen einfachen Hebelarm anzubringen und an diesem die Kolbenstange drehbar zu befestigen, so daſs dieselbe vertical auf- und niedersteigt, wenn der Knopf d mit der Hand in einer ihr parallelen verticalen Ebene hin und her bewegt wird. Verlangt man dagegen eine genaue verticale Bewegung, so sey c
Fig. 155. der Mittelpunct der oben beschriebenen Welle. An dieser be-

ſinde sich der Hebelarm A, welcher aus einem Bogentheile mit zwei hervorstehenden Rändern besteht, zwischen denen die Stange ab genau passend liegt. Auf den Knöpfen α und β sey die Stange $\alpha\beta$ um die genannten Knöpfe drehbar befestigt und auf gleiche Weise eine zweite auf der andern Seite an den in der Zeichnung nicht sichtbaren Knöpfen über γ und unter a, wodurch bei der Drehung der Welle um ihre Axe die Stange ab zwischen den beiden überstehenden Rändern im steten Wechsel genau vertical auf- und absteigend bewegt wird.

Um die erforderliche Kraft zu berechnen, werde angenommen, die Länge des kürzern Hebelarms A vom Centrum der Welle bis an das Ende des Bogens, wo die Stange anliegt, betrage 8 Zolle, die Länge des längern Hebelarms vom Centrum der Welle bis in die Mitte der Handhabe dagegen 4 Fuſs oder 48 Zolle, so ist ihr Verhältniſs 1 zu 6 und man wird also mit 1 ℔ Kraft 6 ℔ Last fördern. Beträgt dann nach einer der obigen Annahmen die zu hebende Last 125,6 ℔, so erfordert die Bewegung $\frac{125,6}{6} = 20,93$ ℔, und die Bewegung kann also, wenn man die Kraft eines Manns zu 25 ℔ annimmt, auch von schwächeren Personen, insbesondere wenn sie nur kurze Zeit dauert, füglich mit groſser Geschwindigkeit geschehn; wäre dagegen eine anhaltende Bewegung erforderlich, z. B. bei technischen Anlagen, so würde es vortheilhaft seyn, ein Schwungrad mit einer Kurbel anzubringen, um die erforderliche Anstrengung gleichmäſsig zu vertheilen, wofür jedoch eine abgeänderte Construction nothwendig wird, deren Beschreibung nicht hierher gehört.

Endlich kommt die Menge des Wassers, die in einer gegebenen Zeit gefördert wird, hauptsächlich in Betrachtung, die jedoch ohne Schwierigkeit berechnet werden kann. In dem gewählten Beispiele ist ohne Rücksicht auf die Saug- und Druckhöhe angenommen, daſs der Embolus 2 Zoll im Durchmesser habe und bei jedem Zuge 8 Zoll abwechselnd gehoben oder herabgedrückt werde. Da aber beim Aufsteigen desselben das Wasser in den Stiefel aufgesogen, beim Herabgehn dagegen aus demselben in die Höhe gedrückt wird, so muſs durch jeden Hin- und Hergang des Brunnenschwengels ein Wassercylinder von 2 Z. Durchmesser und 8 Z. Höhe gefördert

Digitized by Google

werden, wenn man einen möglichen geringen Verlust durch die Ventile und die anfänglich nöthige Erfüllung des Stiefels nebst den Röhren nicht berücksichtigt. Der Kubik-Inhalt des angegebenen Cylinders beträgt 25,13 Kub. Zoll. Indem aber die Länge des kürzern, die Kolbenstange hebenden Hebelarms zu 8 Zoll, das Verhältniſs zum längern Hebelarme des Brunnenschwengels wie 1 zu 6 angenommen ist, so folgt erstlich, daſs der Bogen, an welchem die Kolbenstange anliegt, für 8 Z. Hebung nicht kleiner als von 8 Z. Länge oder 58° seyn dürfe[1], und zweitens, daſs das Ende des längern Hebelarms durch 6×8 oder 48 Z. = 4 Fuſs bewegt werden müsse. Wenn man nun annimmt, daſs diese Bewegungen bei der nicht groſsen Last in 1 Secunde geschehn, was mindestens für eine nur kurze Zeit dauernde Anstrengung sehr wohl möglich ist, so würden in jeder Minute $30 \times 25{,}13 = 753{,}9$ Kubikzoll gehoben, welches nahe genau 16 Pinten oder 15 Liter beträgt, wenn man die Pinte zu 47 Kub. Zoll und 1 Pinte = 0,931 Liter in genähertem Werthe annimmt. Dieses leichte Beispiel zeigt, auf welche Weise solche Berechnungen in vorkommenden Fällen anzustellen sind; jedoch muſs neben der dem Künstler zu empfehlenden Genauigkeit in Anfertigung der Maschinentheile hauptsächlich dahin gesehn werden, daſs nicht zu viele Luft im Stiefel und in den Röhrenenden bis zu den Ventilen zurückbleibe, deren Ausdehnung sonst leicht das Aufsaugen der erforderlichen Wassermasse hindern oder gänzlich aufheben könnte. Ob es übrigens vortheilhafter sey, den Cylinder von oben herab in den Stiefel zu drücken oder von unten aufwärts zu heben, hängt von dem Verhältnisse der Wassersäulen ab, die durch Saugen gehoben oder durch Drücken aufwärts getrieben werden sollen. Ist die Wassersäule des Saugwerks die höchste, so wird man mit Vortheil den Cylinder von unten emporheben, weil dann das Gewicht desselben nebst dem der Stange beim Saugen zu Hülfe kommt, ist dagegen die durch Druck zu hebende Wassersäule am höchsten, so wendet man mit Vortheil die entgegengesetzte Construction an.

---

1 Es wird überflüssig seyn zu bemerken, daſs für einen Halbmesser von 8 Z. der ganze Kreis $6{,}28 \times 8$ Zoll beträgt, wovon 8 Z. den 6,28sten Theil ausmacht, und wonach dann $\frac{360°}{6{,}28}$ etwas über 57° beträgt.

Da bei den Saugpumpen das Aufziehn und bei den Compressionspumpen das Herabdrücken des Kolbens eine weit über die mittlere hinausgehende Kraft erfordert, beide Maschinen aber sich zu einer schnellen Bewegung der Kolben nicht eignen, weil sonst die Theile derselben zu sehr leiden, wenn sie bei dem unvermeidlichen Wechsel des Kolbenspiels zu schnell aus dem Zustande der Ruhe in den der Bewegung übergehn, so sucht man mehrere Kolben mit einander so zu verbinden, daſs dadurch eine ununterbrochene Wirksamkeit der Maschine und eine stets gleichmäſsige Kraftanwendung erreicht wird [1]. Am einfachsten geschieht dieses dadurch, daſs man an beiden Hebelarmen in gleichem Abstande vom Hypomochlium h zwei Kolbenstangen a und b anbringt, deren eine ge- Fig.
hoben, die andere herabgedrückt wird, so daſs also, wenn 156.
beide besonderen Saugpumpen oder Druckpumpen zugehören, nicht bloſs anhaltend Wasser gehoben, sondern auch die Kraft ohne unnütze Verschwendung an einem Gegengewichte gleichmäſsig auf beide Bewegungen vertheilt wird. Am leichtesten läſst sich dieses Princip bis zu einer beliebigen Menge verbundener Kolbenstangen erweitern, wenn man sie an einer umgedrehten kreisförmigen Scheibe vereinigt, wie zur leichteren Uebersicht für drei Kolbenstangen durch die Zeichnung erläutert wird. Es sey zu diesem Ende QDM ein Kreis auf Fig.
der Scheibe, die um ihre horizontalliegende Axe O gedreht 157.
wird. Auf dieser sind drei ungleich weit hervorragende Zapfen K, H, B befestigt, auf welche die Kolbenstangen KS, HT, BR mit ihren untern Enden gesteckt und durch eine vorgeschraubte Mutterschraube festgehalten werden. Es fällt von selbst in die Augen, daſs man statt der Scheibe auch einen Stern mit gleichlangen Speichen in derjenigen Anzahl wählen könne, die man für den vorgesetzten Zweck am geeignetsten findet, desgleichen daſs hierdurch ein ununterbrochener Wechsel des Aufsteigens und Herabgehns der an den entgegengesetzten Hebelarmen angebrachten Kolbenstangen statt finden muſs.

Die *Kolben*, womit die beschriebenen Pumpen versehn

---

1 Marknoble's Pumpe mit zwei Stiefeln und zwei Kolben in jedem ist zu complicirt. S. Repertory of Arts. Daraus in G. XV. 71.

Digitized by Google

werden, sind bereits im Art. *Druckpumpe* mit der erforderlichen Ausführlichkeit beschrieben, auch ist daselbst von den *Ventilen* kurz geredet worden. Diese bestehn im Allgemeinen aus zwei mit gleichen Flächen versehenen Körpern, die von einander getrennt werden, wenn das Wasser zwischen ihnen durchströmen soll, und zusammenfallen, wenn dasselbe zurückzuströmen anfängt. Die Flächen sind entweder ebene, indem
Fig. 158. sich in der hölzernen oder metallnen Scheibe a b eine Oeffnung befindet, welche durch die Scheibe e verschlossen wird, an welcher sich unten eine verticale, in der weiten Oeffnung des Bügels $\gamma\delta$ leicht bewegliche Stange $\alpha\beta$ befindet, um die Lage der oberen Scheibe unverrückt zu erhalten, wobei sich von selbst versteht, daſs diese Stange auch zu gröſserer Sicherheit durch zwei in verticaler Linie über einander befindliche Löcher sich bewegen kann. Bei den gemeinen Pumpen ist die Scheibe e meistens von Holz und mit einem untergelegten Stücke Leder oder Filz versehn, welches am einen hervorstehenden Ende auf das untere Bret a b genagelt wird und zugleich ein Charnier bildet, so daſs das Bretchen e sich klappenartig öffnet und schlieſst. Es gebührt jedoch den metallnen auf jeden Fall der Vorzug und es ist besser, wenn sie ganz gehoben werden und ihre horizontale Lage nicht ändern, weil sie dann dem Wasser mehr Spielraum gestatten; auch möchte ich den ganz ebenen vor allen andern den Vorzug einräumen, weil man ebene Flächen am leichtesten verfertigen und genau schlieſsend auf einander schleifen kann. Uebrigens giebt man ihnen auch die Form stumpfer abgekürzter Kegel, der Muscheln, der Kugeln u. s. w., worüber ausführlich zu handeln hier nicht zweckmäſsig seyn würde[1].

Zu den Wasserhebungs-Maschinen, die hier am schicklichsten kurz zu erwähnen sind, gehören die bereits beschriebenen, nämlich Langsdorf's *Saug-Schwungmaschine*[2] und Vera's *Seilmaschine*[3], desgleichen der *Stoſsheber* oder *hydraulische Widder*, der *Heronsbrunnen* oder Heron's *Spring-*

---

1 Vergl. Robison a. a. O. p. 677. v. Gerstner a. a. O. Bd. II. S. 129.

2 S. Bd. II. S. 82. Nach Barlow in Encyclop. metrop. Mixed. Sc. T. I. p. 289. ist sie durch Erskine erfunden worden.

3 S. Bd. I. S. 191.

brunnen und die *Wasserſäulenmaschine*, deren Beschreibung eigenen Artikeln vorbehalten bleiben. Auſserdem gehören noch folgende zu den bekanntesten und wichtigsten.

1. Die Schnecke oder die Wasserschraube des Archimedes, deren Erfindung gewöhnlich diesem groſsen Geometer zugeschrieben wird, die jedoch schon früher von den Aegyptiern zur Nachhülfe bei den Nilschwellen gebraucht worden seyn soll. Diodorus Siculus[1] erzählt nämlich, sie sey von jenem auf seiner Reise nach Aegypten erfunden worden und seitdem dort in Anwendung gekommen, aber Vitruv nennt ihn nicht als Erfinder und Perrault in seinem Commentar zu dieser Stelle bemerkt, daſs die Maschine zu dem angegebenen Zwecke, nämlich die Wiesen nach den Ueberschwemmungen auszutrocknen, höchst wahrscheinlich schon früher gebraucht worden sey. Nach dem übereinstimmenden Zeugnisse von Diodorus und Athenaeus[2], welcher erzählt, daſs auch die Schiffer von dieser Maschine unter dem Namen der archimedeischen Schnecke zum Fortschaffen des Wassers aus den Schiffen Gebrauch zu machen pflegten, möchte es dennoch am geeignetsten seyn, ihn als den Erfinder derselben anzusehn, indem ich die durch Perrault erhobenen Zweifel dem Bestreben der damaligen französischen Gelehrten beizumessen geneigt bin, alle wichtige Erfindungen von den Aegyptiern abzuleiten.

Die *Wasserschraube* des Archimedes, wie sie gewöhnlich als Modell in den physikalischen Cabinetten angetroffen wird, besteht aus einem hölzernen oder blechernen Cylinder ABCD, welcher oben mit einer Kurbel, unten mit einem Fig. 159. Zapfen versehn ist, beide dazu bestimmt, den Cylinder um seine Axe zu drehn. Um denselben ist eine wenige Linien inneren Durchmesser haltende Glasröhre E schraubenförmig gewunden, so daſs sie sich mit dem Cylinder umdreht und, an beiden Seiten offen, bei einer gegen den Horizont geneigten Lage des Cylinders mit dem unteren ins Wasser gesenkten Ende bei jeder Umdrehung Wasser schöpft, welches dann bei fortgehender Drehung in ihr aufwärts gehoben wird, um am andern Ende auszuflieſsen. In ihrer zum praktischen Gebrauche bestimmten Gestalt, wie sie nach Barlow hauptsächlich

1 Bibliotheca Hist. L. I.

2 Deipnosoph. L. V.

in Deutschland angewandt wird, so daſs sie hiernach die deutsche heiſst, ist ihr Bau hiervon sehr verschieden. Bei guter
Fig. 160. Construction besteht sie aus einer eisernen Spindel A B von etwa 1,5 bis 2,5 Zoll Durchmesser, deren oberes und unteres Ende zum Auflegen auf die Unterlagen bestimmt sind, während an der Fortsetzung des obern Endes die Kurbel angebracht ist. Diese Spindel bildet die Axe einer aus geraden Dauben oder Faſsstäben gebildeten cylinderförmigen Tonne, des Mantels, von 2 F. Durchmesser und 16 bis 24 F. Länge, welcher durch eine hinlängliche Anzahl eiserner Bänder zusammengehalten wird. Im Innern dieses Cylinders laufen nach Art der Windungen in den Schneckenhäusern drei auf die Spindel gestützte und in Vertiefungen in der innern Seite des Cylinders (des Mantels) eingesteckte, aus gehörig geformten einzelnen Stücken Kiefernholz zusammengesetzte Windungen. Es ist hauptsächlich zu beachten, daſs die einzelnen Theile dieses dreifachen Schraubengangs vorher gehörig geformt werden, so daſs sie an dem schmaleren Ende, wo sie die eiserne Spindel berühren oder, falls letztere von Holz und dann verhältniſsmäſsig (bis etwa 5 Zoll) dicker ist, in dieselbe oder in einen Falz der eisernen Spindel eingelassen werden, dicker, an dem breitern, in den Cylinder gefügten Ende aber dünner sind, daſs sie ferner dicht an einander stoſsen und eine ziemlich glatte, gleichmäſsig gekrümmte Fläche bilden. An der Spindel beträgt die Dicke eines solchen Schraubengangs ungefähr 1 Zoll, an der innern Wandung des Cylinders aber nicht mehr als höchstens 3 Linien und der Abstand der Schraubengänge von einander etwa 2 Zoll, so daſs die Höhe eines einzelnen Schraubengangs ungefähr 6 Zoll ausmacht. An dem untern Theile der zum Umdrehn der Maschine dienenden Kurbelhandhabe befinden sich meistens zwei vermittelst eiserner Ringe aufgesteckte hölzerne Stangen von 6 bis 8 F. Länge, durch welche drei Stäbe gesteckt sind, an deren jedem ein Arbeiter zieht, so daſs 12 Mann an diesen Stäben und 4 an der Kurbel selbst, also im Ganzen 16 Mann gleichzeitig arbeiten können.

Die Wirkungsart der Maschine wird leicht erkannt, wenn man sich denkt, daſs die Spindel vertical gestellt werde, in welchem Falle oben aufgeschüttetes Wasser auf jedem der schraubenförmigen Gänge, deren zur leichteren Uebersicht nur einer gezeichnet ist und bei der Demonstration berücksichtigt

werden mag, herabflieſsen würde. Neigt man dagegen die Spindel gegen den Horizont, so wird zwar in Beziehung auf eine durch die Axe der Spindel gelegte verticale Ebene die eine Seite des Schneckengangs noch stärker geneigt werden und also das Wasser noch schneller herabflieſsen lassen, die andere dagegen wird horizontal werden, wenn der Neigungswinkel gegen den Horizont $= \alpha$ und derjenige Winkel $= \beta$, welchen die Ebene des Scheckengangs mit der Spindel macht, zusammen 90° betragen, weswegen die Maschine unwirksam ist, wenn ihr Neigungswinkel nicht kleiner wird, als er hiernach seyn würde. In diesem Falle würde oben aufgegossenes Wasser auf der geneigten Seite herabflieſsen, auf der horizontalen aber stehn bleiben, wenn es nicht in Folge der durch seine Masse gegebenen Höhe auf gleiche Weise, als auf horizontaler Ebene fortflösse, so daſs also hiernach kein Wasser auf der schraubenförmigen Fläche stehn bliebe. Brächte man die Spindel in eine horizontale Lage so, daſs das eine Ende des Mantels sich ganz unter Wasser befände, so würde dieser sich ganz mit Wasser füllen, wenn dasselbe am andern nicht ausflieſsen könnte. Hieraus ergiebt sich also von selbst, daſs bei einem Neigungswinkel der Spindel mit dem Horizonte $= \frac{1}{2}\alpha$ die Hälfte des innern Raums durch aufgegossenes Wasser erfüllt werden muſs, und da β gegen α meistens klein ist, so rechnet man daher einen Neigungswinkel von 45° gegen den Horizont als den vortheilhaftesten für den Gebrauch der Maschine[1]. Es geht hieraus ferner hervor, daſs der ganz unter Wasser getauchte Theil der Maschine bis dahin, wo der Wasserspiegel die Axe der Spindel schneidet, als ganz unnütz zu betrachten sey; auch will Langsdorf gefunden haben, daſs nach seinen Versuchen die Maschine weniger Wasser giebt, wenn sie tiefer ins Wasser eingetaucht ist, was daraus erklärlich wird, daſs dann die vom andern Ende her eindringende Luft nicht so leicht die obere Hälfte des Raums im Mantel auszufüllen vermag. Ist aber der untere Theil der gehörig geneigten Maschine bis zur Axe der Spin-

1 Nach Vitruv de Archit. L. X. cap. XI. p. 243. ed. Rode wird sie so aufgerichtet, daſs ihre Länge, ihre Höhe und die Grundfläche des hieraus gebildeten rechtwinkligen Dreiecks sich wie die Zahlen 5:3:4 verhalten, was einen Elevationswinkel von 36° 53′ giebt.

Digitized by Google

del ins Wasser eingesenkt (obgleich nach der gegebenen Darstellung diese Tiefe keine nothwendige Bedingung ihrer Wirksamkeit ist) und wird sie vermittelst der Kurbel um ihre Axe gedreht, so füllt sich der untergetauchte Zwischenraum zwischen zwei Schraubengängen mit Wasser, welches beim fortgesetzten Drehen den untern Theil dieses Raums ausfüllt, auch wenn der vorher erfüllte wieder nach oben gerichtet ist, und da dieses eingeschlossene Wasser nicht wieder über die aufsteigende geneigte Ebene der andern Hälfte des Schraubengangs zurückflieſsen kann, so muſs es zuletzt bis zum andern Ende des Mantels ansteigen und dort ausflieſsen.

Die Maschine liefert, wenn sie von den angegebenen Dimensionen in Anwendung gebracht wird, bei etwas schneller Bewegung (höchstens 90 Umdrehungen in einer Minute) eine groſse Menge Wasser, jedoch nicht auf eine bedeutende Höhe, die Theorie derselben ist aber auſserordentlich schwierig. Es haben sich daran versucht Dan. Bernoulli [1] und Pitot [2], hauptsächlich L. Euler [3], welcher seine Untersuchungen jedoch nicht für beendigt, vielmehr das Problem für sehr schwierig erklärt. Diesemnach setzte die Akademie zu Berlin im Jahre 1766 einen Preis auf die Auflösung desselben, welchen Hennert [4] erhielt, allein Karsten [5] zeigte, daſs seine Auflösung keineswegs genügt. Auch Bellogradi [6] hat sich daran versucht und ausführlich handelt darüber Langsdorf [7], welcher sowohl theoretische Untersuchungen, als auch die Resultate seiner Versuche mittheilt, die jedoch beide nicht in einem erforderlichen Grade zusammenstimmen, weil nach seinen Nachweisungen noch verschiedene Bedingungen zu berücksichtigen sind, die seine Vorgänger übersehn haben und deren Bestimmung groſsen Schwierigkeiten unterliegt. Die aus-

1 Hydrodyn. Sect. IX. p. 183.

2 Mém. de Paris. 1736. p. 173.

3 Nov. Comm. Pet. T. V. p. 259.

4 Dissert. sur la Vis d'Archimede cet. 1766.

5 Lehrbegriff der gesammten Math. Greifsw. 1771. Bd. VI. Abs. XXXVI. u. XXXVII.

6 Theoria cochleae Archimedis ab observationibus, experimentis et analyticis rationibus ducta. Parmae 1767.

7 Lehrbuch der Hydraulik mit beständiger Rücksicht auf die Erfahrung. Altenb. 1794. Bd. I. S. 557 ff.

Digitized by Google

führlichsten Untersuchungen über diese Maschine sind durch Hachette[1] angestellt worden, welcher zugleich Tabellen über die Verhältnisse der Dimensionen und der Neigung derselben nach den Versuchen von Touroude mittheilt, die 1766 angestellt, aber erst 1809 bekannt gemacht wurden. Nach zwei Versuchen von Lamandé, bei deren einem Hachette selbst gegenwärtig war, wurde eine Schnecke von 5,85 Meter Länge und 0,49 Meter Durchmesser angewandt. Die Bewegung geschah durch 18 Menschen, die sich zu 9 und 9 alle 2 Stunden ablösten. Bei 40 Umdrehungen in 1 Minute wurden 45 Kub. Meter auf 3,3 Meter Höhe in 1 Stunde gehoben, welches für 10 Arbeitsstunden 450 Kub. Meter zu 3,3 Meter Höhe oder 1485 Kub. Meter zu 1 Meter Höhe, also den Nutzeffect der Arbeit eines Manns für einen Tag zu 82 Kubikmeter zu 1 Meter Höhe gehoben, folglich ungefähr der Arbeit beim Rammen gleichkommend giebt. Beim zweiten Versuche machte die Maschine nur 35 Umdrehungen in 1 Minute, es arbeiteten 6 Menschen 6 Stunden und hoben in einer Minute 765 Liter zu 2 Meter Höhe oder 91,8 Kub. Meter zu 1 Meter Höhe in 1 Stunde. Der Widerstand des äuſsern, gleichfalls in Bewegung gesetzten Wassers verzehrt einen bedeutenden Theil der aufgewandten bewegenden Kraft, weswegen die Maschine desto mehr Wasser liefert, je weniger tief sie eingetaucht ist. Cagniard-Latour hat eine sinnreiche Anwendung der Schnecke gemacht, um das Wasser mit Gasarten zu sättigen. Bewegt man sie nämlich in entgegengesetzter Richtung, so weicht das Wasser zurück und die durch die Windungen herabströmenden Gasarten verbinden sich mit der Flüssigkeit.

2. *Schöpfmaschinen*, vermittelst deren das Wasser in Gefäſsen aufgefaſst, gehoben und dann ausgeschüttet wird, giebt es viele, deren genauere Beschreibung jedoch nicht zweckmäſsig seyn würde, weil sie das Wasser nicht zu bedeutenden Höhen heben, meistens grob construirt sind und daher bei der gegenwärtig weiter fortgerückten Mechanik nur selten in Anwendung kommen. Dahin gehört das *Tympanum* oder die *Trommel*, ein durch das Wasser bewegtes unterschlächtiges Schaufelrad, welches mit einem hohlen Kranze versehn ist, der, in vier bis acht Räumen durch Querbreter abgetheilt, beim Durch-

1 Traité élém. des Machin. Par. 1828. p. 180 ff.

gange durch das Wasser durch Löcher an seiner Auſsenseite sich mit Wasser füllt, dieses in die Höhe hebt und in einen in der Axe des Rads befindlichen Cylinder abflieſsen läſst, aus welchem dasselbe durch Oeffnungen in ein Gerinne strömt. De la Faye[1] hat dasselbe verbessert, namentlich die Zahl der schöpfenden Abtheilungen von 4 bis 8 vermehrt; allein da das Wasser vermittelst desselben nur bis zur Höhe des Halbmessers des Rads gehoben wird, die Anlegung eines Wasserrads, obendrein eines unterschlächtigen, nicht bloſs kostspielig und mühsam, seine Erhaltung aber vielen Gefährdungen ausgesetzt ist, so wird diese Maschine ungeachtet der groſsen Menge Wassers, die sie fördert, dennoch selten in Anwendung gebracht.

Es schlieſst sich hieran die in Spanien gebräuchliche *Noria*, ein verticales Rad mit Kasten oder Schaufeln in seinem Umkreise, die sich mit Wasser füllen und dasselbe ausschütten, wenn sie durch die Umdrehung des Rads oben angekommen sind. Die Bewegung des Rads geschieht durch Maulthiere. Am gebräuchlichsten sind die Schöpfräder, wie das so genannte persische Schöpfrad, ein durch Wasser getriebnes unterschlächtiges Rad, an dessen Kranze vierkantige Kasten oder Eimer an Zapfen so herabhängen, daſs ihre Oeffnung stets nach oben gerichtet bleibt, so daſs sie sich mit Wasser füllen, wenn sie gleichzeitig mit den Radschaufeln eingetaucht werden, ihren Inhalt beim Umdrehen in die Höhe heben und durch einen oben befindlichen, gegen ihren untern Theil fassenden Balken umgedreht in ein Gerinne ausschütten. Solche Schöpfräder sind hauptsächlich in Holland gebräuchlich, wo sie durch Windmühlen getrieben werden, und sie lassen sich überhaupt auf verschiedene Weise abändern. Besser dürfte das *Paternoster-Werk* bei der Anwendung sich zeigen. Dieses besteht aus einer Kette ohne Ende, auf welcher sich Kugeln, gepolsterte Bauschen oder Breter in gleichmäſsigen Abständen von einander befinden, die durch einen mit dem untern Ende im Wasser stehenden verticalen Kasten in die Höhe gewunden werden, und indem sie unten und oben um zwei horizontale Trommeln gelegt sind, in deren Vertiefungen sie genau passen, so bewegen sie sich an der entgegengesetzten Seite durch das Umdrehn der Trommeln herab-

1 Mém. de l'Acad. 1717.

Digitized by Google

wärts und nehmen beim Aufsteigen das bei ihrem Eintritte in die verticale Röhre über ihnen befindliche Wasser mit in die Höhe, welches dann oben abflieſst. Da die an der Kette befindlichen Körper den innern Raum der Röhre nicht sehr dicht ausfüllen können, so läuft viel Wasser neben ihnen zurück. Groſse Aehnlichkeit hiermit hat das *Kastenwerk* oder die *Kastenkunst* und dürfte bei genauer Ausführung der Arbeit in der Anwendung sich noch vorzüglicher zeigen. Diese Maschine besteht gleichfalls aus zwei einander parallel und horizontal liegenden sechskantigen Säulenstücken, die auch, wie in der Zeichnung ausgedrückt ist, aus 6 zusammengefugten und auf Fig.
Speichen gestützten Stücken bestehn können. Um diese lau- 161.
fen zwei Ketten ohne Ende einander parallel, deren Glieder genau die Länge der Seiten jener um ihre Axen gedrehten Stücke haben und sich daher beim Herauf- und Herabgehn auf diese Seiten lagern. An den Gliedern beider Ketten zusammen sind an jedem gleich hohen Paare Kasten befestigt, welche oben weiter als unten, zum Theil auch oben bedeckt und mit einem etwas hervorstehenden Ausguſsrohre versehn sind, aus welchem das beim Eintauchen geschöpfte und demnächst in die Höhe gehobene Wasser dann in einen Behälter ausläuft, wenn die ihnen zugehörigen Kettenstücke eine horizontale Lage erhalten.

3. Eine sinnreich construirte und oft mit groſsem Nutzen in Anwendung zu bringende Maschine ist die vervielfältigende *Rad-Eimer-Maschine* (*multiplying wheel bucket engine*), von der zuerst Schott redet, die aber ihre erste Ausführung durch Gironimo Finugio zu Rom im Jahre 1616 erhielt und seitdem auch in England wiederholt ausgeführt wurde[1]. Ueber ein gröſseres Rad WW ist eine Kette P gelegt, welche un- Fig.
terhalb eine Stange x und an dieser den Kasten b trägt, in 162.
dessen Boden sich ein durch einen Druck nach oben öffnendes Ventil befindet. Concentrisch mit dem groſsen Rade ist ein anderes ww von verhältniſsmäſsig kleinerem Durchmesser befestigt, um welches gleichfalls eine Kette mit einer Stange yz geschlungen ist, an deren unterem Ende das gröſsere Gefäſs B hängt. Im Boden des letztern befindet sich ein Ventil, welches durch die in n bewegliche Stange nm mit dem Gegen-

1 Barlow in Encyclop. met. I. p. 284.

gewichte m gehoben wird. Ist das Gefäſs B nach der in der Zeichnung angenommenen Stellung ganz mit Wasser gefüllt, so sinkt es herab, das unterhalb a befindliche Ventil fällt durch sein eigenes Gewicht zu, das Gefäſs B erreicht diejenige Stelle, wo der Balken M das Ventil im Boden desselben durch Hebung des Arms m öffnet, so daſs das erleichterte Gefäſs durch das auf den längeren Hebelarm wirkende kleinere b wieder gehoben wird, bis es das Ventil unter a wieder aufstöſst und abermals gefüllt wird. Während seines Herabsinkens hebt es das kleinere Gefäſs b, bis dieses an einer in seiner Mitte befindlichen Hervorragung durch den Haken s ergriffen, über den Rand des Kastens R um so leichter umgestürzt wird, als es an zwei etwas über seiner Mitte befindlichen Zapfen in einer bügelförmigen Gabel hängt, und dann sein Wasser in diesen Behälter R ausschüttet. Sollten etwa die beiden Gefäſse nicht gehörig balancirt seyn, so kann durch den Quadranten Q, in dessen Getriebe die gezahnte Stange c d eingreift und welcher mit dem willkürlich zu stellenden Gegengewichte X verbunden ist, nachgeholfen werden, welcher Mechanismus besonders dann in Anwendung kommen kann, wenn die Gewichte durch die ungleiche Länge der sich abwickelnden Ketten eine Veränderung erleiden.

Fig. 163. 4. Die *Spiralpumpe,* auch Wirtz's *Spiralpumpe* oder *Züricher Maschine* genannt, vom Zinngieſser Andreas Wirtz aus Zürich 1746 erfunden, hat wohl mehr Aufsehn erregt, als sie wegen ihrer praktischen Anwendbarkeit, insbesondere im Groſsen, verdient. Sie besteht aus einem auf horizontaler Axe drehbaren hohlen Cylinder, in dessen innerem Raume von der Axe ausgehend eine gewundene Platte, nach Art einer gespannten Uhrfeder, in zehn Windungen bis zum äuſseren Rande fortläuft und daselbst am Ausgange mit einem Schöpftrichter versehn ist. Die zwischen den Windungen entstehenden Räume werden nach Innen zu stets enger, und ihr Ende senkt sich in die Welle, an welcher die ganze Trommel herumgedreht wird. Das eine, etwas hervorragende Ende dieser Welle ist in seiner Axe bis an jene Oeffnung durchbohrt und mit einer wasserdicht schlieſsenden Röhre versehn, um welche die Welle gedreht wird, indem sie zugleich mit ihrem andern Ende in den kurzen horizontal umgebogenen Theil einer verticalen Steigröhre gesteckt ist. Befindet sich dann der

Digitized by Google

äuſsere Theil der Trommel im Wasser und wird dieselbe nach der gehörigen Seite vermittelst der an der Welle befindlichen Kurbel oder durch einen sonstigen geeigneten Mechanismus umgedreht, so füllt sich der Schöpftrichter bei jeder Umdrehung mit Wasser, welches mit Luftschichten abwechselnd herabsinkt, die ganze Spiralwindung durchläuft, so in die Welle gelangt und in der Steigröhre aufsteigt[1]. DAN. BERNOULLI[2] verbesserte diese Maschine, indem er eine lange bleierne, konisch sich verengernde Röhre in Spiralwindungen um einen abgekürzten Kegel wickelte, so daſs das eine weiteste Ende den Schöpftrichter bildete, das entgegengesetzte aber in den Kegel mündete, und in dieser veränderten Gestalt wurde dieselbe in Florenz, hauptsächlich in Ruſsland, auch in Schweden und England zum praktischen Gebrauche ausgeführt[3]. TH. YOUNG[4] versichert, daſs er den Versuch gemacht habe, das Wasser mit dieser Maschine bis zu 40 Fuſs Höhe zu heben, welches daraus erklärlich wird, daſs die Wassersäule im Steigrohre durch die Summe der einzelnen in der Spirale befindlichen Säulen gedrückt wird; es läſst sich jedoch mit Grunde gegen diese Maschine einwenden, daſs das dichte Schlieſsen der Verbindungsröhre schwierig ist und bei schneller Drehung die Schwungkraft hindernd eintritt, die so sehr zunehmen könnte, daſs gar keine Wirkung mehr erfolgte[5].

5. Eine sinnreich construirte vervielfachende Druckmaschine dient dazu, das Wasser bei nicht hohem Falle durch einzelne Absätze bis zu beliebigen Höhen zu treiben. Es sey

1 Vorläufige Anzeige eines neuen Schöpfrades, erfunden von A. WIRTZ und beschrieben von J. H. ZIEGLER von Winterthur. In den Abhandl. d. naturf. Ges. in Zürich. Bd. III.

2 Nov. Comm. Pet. T. XVII. p. 251. Dieses ist in Anwendung gebracht durch RESENER in G. XLIII. 168.

3 NICANDER in Schwed. Abh. Bd. IV. S. 58, 197 u. 277. Lettre sur la machine hydraulique d'Archangelsky. Trad. du Suédois. Petersb. 1787. 8.

4 Lectures. T. I. p. 329.

5 Die Figur zeigt die, auch in Modellen übliche, Construction, wenn man statt der Trommel mit Abtheilungen eine hohle Schnecke um eine Axe windet. Sehr ausführlich über diese Maschine handelt v. SCHMIDT-PHISELDECK in J. R. MEYER systematische Darstell. aller Erfahrungen in d. Naturlehre. Aarau 1808. 4. Bd. IV. S. 376.

Digitized by Google

Fig. 164. zu dieſem Ende das Gefäſs b durch Zufluſs stets mit Waſser gefüllt, welches einen der Höhe bc proportionalen Druck ausübt und nach dem Oeffnen des Hahns o und Schlieſsung des andern p in den luftdicht schlieſsenden Kasten B gelangt. Indem hierdurch die in dem letztern enthaltene Luft zusammengedrückt und eine gleiche Zusammendrückung auch durch das enge Rohr wx den luftdichten Gefäſsen g, i und l mitgetheilt wird, so muſs das in dieſen enthaltene Waſser durch die Röhren z, z, z, z in die Gefäſse f, h, k bis nach C gelangen, wenn keine jener Röhren länger iſt, als die Druckhöhe bc. Sind die genannten Gefäſse voll, so schlieſst sich der Hahn o, der andere p aber öffnet sich, und das im Gefäſs B enthaltene Waſser läuft ab, indem gleichzeitig die äuſsere Luft in dasſelbe eindringt. Indem dann das Waſser in das gleichfalls luftdichte Gefäſs D strömt, welches vorläufig als leer angenommen wird, so muſs die Luft durch das aufſteigende Waſser in dieſem und gleichzeitig durch die Verbindungsröhre ut in den gleichfalls luftdichten Behältern f, h und k zusammengedrückt werden, wodurch dann das darin enthaltene Waſser in die darüber befindlichen Gefäſse g, i und l aufſteigt. Durch den erfolgenden Wechſel der Hahnen entleert sich das Gefäſs D, während B wieder angefüllt wird und das beschriebene Spiel der Steigung wieder beginnt; die Selbststeuerung der Hahnen geschieht durch den in s beweglichen Hebel vermittelst der Gefäſse r, q, die auf die aus der Zeichnung sichtbare Weiſe abwechselnd mit Waſser gefüllt niederſinken, worauf dann die Ventile von unten aufgestoſsen werden, z. B. bei q, wenn es nach q′ gelangt iſt, und wieder in die Höhe steigen. Der Zufluſs des Waſsers in die Rinne muſs durch den Hahn d so regulirt werden, daſs der Wechſel dieſer Bewegung genau mit dem erforderlichen Wechſel des Oeffnens der Hahnen zusammenfällt. Die letztere Vorrichtung, wovon man bei verschiedenen Maschinen Gebrauch macht, wird wegen der oscillirenden Bewegung auch das *hydraulische Pendel* genannt. Uebrigens begreift man leicht, daſs das Waſser auch durch eine gröſsere Zahl über einander befindlicher Gefäſse beliebig hoch gehoben werden kann, daſs aber, die Steuerung abgerechnet, mehr Waſser verloren als gefördert wird, weil die Luft allezeit schon zusammengedrückt werden muſs, ehe sie das Waſser zu heben vermag.

Digitized by Google

Die so eben ausführlich beschriebene, auf das Princip der Wirksamkeit der comprimirten Luſt gegründete Maschine hat einige Aehnlichkeit mit einem ungleich mehr bekannten, auf der Wirkung der Luftverdünnung durch Heber beruhenden Apparate. Dieser letztere, die *vervielfachende Hebermaschine* genannte, wurde durch Detrouville erfunden und von der Akademie zu Paris wegen des verführerischen Resultats einer Berechnung ihres Effects sehr empfohlen[1]. Allein Hachette lieſs 1806 ein Modell derselben für die *École polytechnique* verfertigen und fand sie durchaus unbrauchbar, weil es auch bei bester Ausführung unmöglich ist, die Behälter mit verdünnter Luft gegen das Eindringen der äuſsern hinlänglich zu schützen oder den Einfluſs der aus dem Wasser entwickelten zu beseitigen. Hieraus folgert derselbe nicht mit Unrecht, daſs man bei hydraulischen Maschinen mit groſser Sicherheit auf die Wirkung der comprimirten Luft rechnen könne, die der verdünnten aber überall vermeiden müsse [2].

Ein bereits oben[3] unter dem Namen der *Mayer'schen Röhre* beschriebener Apparat beruht gleichfalls auf der Wirkung der verdünnten Luft und steht daher einem ähnlichen nach, welchen Hachette das hydraulische Rohr (*canne hydraulique*) nennt. In einfachster Gestalt besteht dasselbe aus einer bloſsen Röhre, welche aber unten mit einem Ventile versehn ist, statt daſs sich bei jenem Apparate das Ventil oben befindet. So wie die Vorrichtung in elegantester Form bei einem Modelle unter den Apparaten der polytechnischen Schule hergestellt ist, besteht sie aus der Röhre CD, unten mit dem Ventile S, oben Fig.
mit dem Windkessel B, um einen beständigen Ablauf aus dem 165.
Rohre bei a zu erhalten. Das Rohr schwebt in den Ketten FH, EG, ist in der Mitte an dem Querbalken LM befestigt, welcher in einer Nuth vertical auf- und abwärts gleitet, und wenn das Rohr auf diese Weise vermittelst eines Hebelarms in die Höhe geschnellt wird und dann wieder herabsinkt, so steigt die Wassersäule im Innern, indem sie dieser Bewegung nicht schnell genug folgt, kann durch das Bodenventil nicht

1 Mém. de l'Ac. 1790. Prony in Bullet. de la Soc. Philomath. 1800. Fevr. p. 92.

2 Hachette Traité des Machines. Par. 1828. p. 145.

3 Bd. I. S. 266. Fig. 48.

Digitized by Google

wieder zurücksinken und läuſt daher oben aus a aus. Molard hat auf eine sinnreiche Weise den kürzern Schenkel eines Hebers unten mit einem solchen Ventile versehn, und wenn man also diesen Schenkel gleichfalls schnell in verticaler Richtung bewegt, so füllt sich der Heber, bis die Flüssigkeit aus dem längern Schenkel ausläuft. Auf einem ähnlichen Principe beruht auch die Maschine des Vialon, die mir jedoch einer ins Einzelne gehenden Beschreibung für den Zweck dieses Werks nicht werth zu seyn scheint[1].

6. Die *ungarische Maschine*, auch *Luftmaschine*, *schemnitzer Maschine* und Höll'sche *Maschine* genannt, welche J. C. Höll im Jahre 1753 beim Amalienschachte zu Schemnitz in Ungarn zur Förderung des Wassers in Gang brachte[2], hat eine vorzügliche Celebrität erlangt und verdient daher noch besonders kurz beschrieben zu werden. Das bei ihr zum Grunde liegende Princip ist kein anderes als dasjenige, wonach der Heronsbrunnen construirt wird, mit dem Unterschiede, daſs bei letzterm das Wasser aus dem obern Gefäſse in die Höhe springt, wenn die aus dem untern aufsteigende Luft darauf drückt, bei der erstern aber das umgekehrte Verhält-
Fig. 166. niſs statt findet. A ist ein Behälter mit Wasser, 136 F. über dem Sumpfe, aus welchem das Wasser abflieſsen soll, welche Höhe jedoch willkürlich vermehrt werden kann. Aus diesem geht das Rohr bb von 4 Zoll Durchmesser in den kupfernen Cylinder B bis auf 4 Zoll vom Boden herab, dessen Höhe 8,5 F., Durchmesser 5 F. und Metalldicke 2 Z. beträgt. Im obern Deckel desselben befindet sich das Rohr aa mit dem Hahne f, über dem Boden ein zweites dd mit einem groſsen Hahne e, und an der entgegengesetzten Seite geht das Rohr hhh in den Deckel des untern Gefäſses C zu 96 F. Tiefe herab. Letzteres ist 6,5 F. hoch, hat 4 F. im Durchmesser und 2 Z. Metallstärke, also ungefähr 83 Kubikfuſs Inhalt oder nahe die Hälfte des obern von 170 Kub. Fuſs. Vier Zoll über dem Boden dieses letztern Gefäſses ist die Mündung des Steigrohrs nnn von gleichfalls 4 Zoll Durchmesser, welches

1 Hachette a. a. O. p. 178.

2 Kurzgefaſste Beschreibung der bei dem Bergbau zu Schemnitz in Nieder-Hungarn errichteten Maschinen u. s. w., verf. von Nic. Poda cet., herausgeg. von Ignatz Edlen von Born. Prag. 1771. Auch in Neue phys. Belustigungen. Bd. II. S. 57.

Digitized by Google

das gehobene Wasser in das Gefäſs O ausschüttet, wohin das Wasser aus dem Rohre d d gleichfalls flieſst, um durch den Stollen abzulaufen. Das Spiel der Maschine wird hiernach leicht begriffen. Es sey nämlich das Gefäſs B mit Wasser gefüllt, das Gefäſs C aber leer, die Hahnen c, g, f, m, k geschlossen, der Hahn e aber werde geöffnet, so strömt das Wasser sowohl durch eignen Druck als auch durch die über ihm comprimirte Luft gepreſst mit groſser Gewalt aus dem Rohre d. Weil aber die Compression der Luft nicht ausreicht, bis alles Wasser ausgeflossen ist, so werden demnächst die Hahnen f, m und k gleichzeitig geöffnet, damit der Rest des Wassers aus d auslaufen, das Gefäſs C aber während des Entweichens der Luft aus p mit Wasser aus dem Sumpfe L ganz gefüllt werde. Verlangt man den Luftdruck auf das Wasser in B nicht, so wird bloſs der Hahn c geschlossen, die Hahnen f, e, m, k aber werden gleichzeitig geöffnet, um das Wasser aus B abflieſsen zu lassen und das Gefäſs C mit Wasser zu füllen. In jedem Falle werden die vier letztgenannten Hahnen geschlossen, wenn die Füllung des untern und die Entleerung des obern Gefäſses vollendet ist, der Hahn c aber wird geöffnet, wonach also das obere Gefäſs sich mit Wasser von 136 F. Druckhöhe füllt, die comprimirte Luft gelangt durch das Rohr h h h in das untere Gefäſs, treibt das enthaltene Wasser durch das Rohr n n in die Höhe, so daſs es in O abflieſst, worauf das beschriebene Spiel der Maschine aufs Neue beginnt. Hierbei ereignet sich dann die bekannte merkwürdige Erscheinung, daſs gegen das Ende des Ausflieſsens, wenn die auſserordentlich comprimirte Luft mit dem letzten Antheile von Wasser aus dem Steigrohre n n entweicht, das Wasser am Rande der Röhre in Eis verwandelt und durch die Luft mit groſser Gewalt fortgeschleudert wird, oder daſs ein gegen die Mündung des Rohrs gehaltenes nasses Tuch im Augenblicke gefriert, wovon die Ursache in der Absorption der Wärme liegt, die in Folge der starken Expansion der Luft statt findet. Die Steuerung der Hahnen geschieht bei dieser Maschine durch Arbeiter und Boswell hat daher einen Mechanismus angegeben, wodurch eine Selbststeuerung derselben erzielt wird[1]. Eine solche Vorrichtung wäre allerdings nütz-

1 Nicholson's Journ. of Nat. Phil. T. I. Vergl. Hachette Traité élém. des Machines. Par. 1828. p. 151.

lich, da diese Maschine überhaupt sehr der Beachtung werth ist, insofern sie auch an solchen Orten in Anwendung kommen kann, wo die Localität keine andere gestattet; inzwischen scheint mir Boswell's Vorrichtung zu künstlich und nicht sicher genug zu seyn, weswegen auch, so viel ich finde, keine Anwendung davon gemacht worden ist. James Hunter[1] hat eine ähnliche Maschine mit Selbststeuerung angegeben, sie löst aber nur das viel leichtere Problem, Wasser aus einem in der Mitte befindlichen Kasten vermittelst eines Abflusses nach unten in einen beträchtlich höheren zu heben. Ein ähnlicher Vorschlag von v. Derschau[2] ist niemals, so viel mir bekannt, in Ausführung gebracht worden[3].

Pyrometer.

Pyroskop, Hitzemesser; *Pyrometrum*; Pyromètre; *Pyrometer*.

Durch den minder gebräuchlichen Ausdruck *Pyroskop* (von *πῦρ* das Feuer und *σκοπέω* ich sehe) bezeichnet man Werkzeuge, welche das Vorhandenseyn höherer Hitzegrade anzeigen, und eben so sind die *Pyrometer* solche Apparate, mit denen die Intensität oder Gröſse der Hitze (etymologisch das Feuer oder die Wirkung des Feuers) gemessen wird. Unter denjenigen Flüssigkeiten, deren man sich zu Thermometern, also zu Meſswerkzeugen der Wärme überhaupt, bedient, liegt der Siedepunct beim Quecksilber am höchsten, und man benutzt diese Flüssigkeit daher auch für diejenigen Temperaturen, welche über den Siedepunct des Wassers hinausgehn, bis sie demjenigen Puncte nahe kommen, bei welchem dieses

1 Edinb. Phil. Journ. N. I. p. 79.

2 Karsten Archiv für den Bergbau. Bd. XIII. S. 35.

3 Auſser den gelegentlich erwähnten Werken verdienen unter der zahlreichen Menge von denen, die über Wasserhebungs-Maschinen handeln, noch genannt zu werden: J. Leupold Theatrum machinarum hydraulicarum. Desaguliers Cours de physique expérimentale. T. II. F. A. Eytelwein Handbuch d. Mechanik fester Körper u. d. Hydraulik. Berl. 1801. 2te Aufl. Leipz. 1823. Borgnis Traité complet de mécanique appliquée aux arts. Des machines hydrauliques. Par. 1819. 4.

Digitized by Google

Metall selbst siedet. Die atmosphärische Luft (wie die permanenten Gasarten überhaupt) verändert ihren Aggregatzustand bei den gröſsten bekannten Hitzegraden nicht, und da ihre Ausdehnung den Wärmezunahmen stets proportional bleibt, so ist sie hiernach der geeignetste Körper, um als Maſs willkürlich hoher Wärmegrade zu dienen; allein da ein gegebenes, den Einwirkungen der Wärme auszusetzendes Volumen derselben allezeit durch einen andern festen oder flüssigen Körper eingeschlossen seyn muſs, die gleichzeitige Einwirkung der Wärme auf diesen letztern aber nicht zu umgehn ist, so hat man früher auf ihre Benutzung zu pyrometrischen Werkzeugen gar nicht Bedacht genommen, und bloſs in den neuesten Zeiten hat es die weit fortgeschrittene Technik möglich gemacht, dieselbe für diesen Zweck zu benutzen.

Die ältern sogenannten Pyrometer, z. B. von Musschenbroek, Ellicot, Mortimer, Smeaton u. a., bestehn insgesammt aus metallnen Stangen, und dienen nicht sowohl dazu, die Wärme, als vielmehr die Ausdehnung jener Metalle durch diese zu messen, verdienen also ihren Namen durchaus nicht. Eben daher sind sie bei der Untersuchung über die Ausdehnung der Metalle bereits beschrieben worden[1] und können daher hier füglich übergangen werden.

Bei der groſsen Wichtigkeit, verschiedene höhere Grade der Hitze, z. B. die Schmelzpuncte der meisten Metalle, die zum Roth- und Weiſsglühn, zum Brennen des Porzellans u. s. w. erforderlichen Temperaturen kennen zu lernen, versprach im Jahre 1782 die Ankündigung Wedgwood's[2] einen groſsen Gewinn, als derselbe eine eigenthümliche Thonart aufgefunden zu haben versicherte, mittelst deren die höchsten erreichbaren Hitzgrade gemessen werden könnten. Früher hatte derselbe versucht, die Intensitäten des Feuers aus den Farbenveränderungen zu bestimmen, welche dasselbe in Mischungen aus Eisenoxyd und Thon hervorbringt, ohne jedoch hierdurch ein

1 S. Art. *Ausdehnung* Bd. I. S. 560. Vergl. *Wärme*.

2 Phil. Trans. T. LXXII. p. 305., übers. im Journ. de phys. T. XXX. p. 299. Beschreibung und Gebrauch eines Werkzeugs hohe Hitzegrade zu messen u. s w. von J. Wedgwood. Aus d. Engl. Lond. 1786. Schon Mortimer äuſserte 1744, daſs groſse Hitzegrade durch Zusammenziehung von Pfeifenthon meſsbar seyn müſsten. Phil. Trans. T. XLIV. p. 672.

Digitized by Google

genügendes Resultat zu erhalten; weit angemessener für den Zweck dieser Messungen fand er dagegen die Verminderung des Volumens bei allen Thonarten durch die Hitze, vom schwachen Glühen an bis zur gänzlichen Verglasung der Massen, also bis zum äuſsersten, damals erreichbaren Grade der Hitze. Eine leicht sich darbietende Schwierigkeit, nämlich stets Thon von gleicher Beschaffenheit in genügender Menge zu haben, glaubte er mit Leichtigkeit durch die bedeutend mächtigen Thonlager zu beseitigen, die sich in Cornwallis finden und schlug daher vor, eine beträchtliche, für undenkbar lange Zeiten genügende Quantität dieses Thons auszugraben, stark durch einander zu mengen und aufzubewahren, was bei der Wichtigkeit der Sache auch damals wohl unfehlbar wirklich geschehn ist. Von dieser Masse sollten Cylinder durch Oeffnungen in einer Metallplatte gepreſst und dann von der erforderlichen Länge abgeschnitten werden; weil aber hierdurch wegen ungleicher Weichheit der Substanz die Gröſse der Cylinder für eine so feine Messung nicht genau genug wurde, so schien es ihm besser, kleine Parallelepipeda in eignen metallnen Formen zu pressen und diesen erst nach dem Trocknen und einem vorläufigen, bis zur anfangenden Glühhitze reichenden Brennen die gehörige Form zu geben, damit die Stücke insgesammt gleich und so hart würden, daſs sie leicht zu versenden wären. Wedgwood gab auch zugleich die Idee an, auf einer massiven Messingplatte zwei Leisten von eben diesem Metalle einander fast parallel, jedoch etwas convergirend, zu befestigen, den fertigen Thonkörper dazwischen zu schieben und den Punct, wohin er dann reichte, mit Null zu bezeichnen, von hier an aber die Grade auf die Leisten dahin aufzutragen, wohin die durch Hitze geschwundenen Stücke gelangen muſsten. Nach seiner anfänglichen Idee sollten diese Leisten zwei Fuſs lang seyn; weil aber hiernach die Scale eine zu groſse Länge erreichte, so schien es besser, dieselben zu halbiren und drei Leisten mit gleichmäſsig abnehmenden Abständen in Anwendung zu bringen. Wiederholte Versuche schienen auſserdem zu beweisen, daſs diese Thonart sich zu der gesuchten Bestimmung ausnehmend eigne, indem die Thonstücke, gehörig gebrannt, die schnellsten Abwechslungen der Hitze, sogar auch bei ungleichem Feuchtigkeitszustande, ertrugen und selbst glühend ins Wasser

geworfen ihr Volumen nicht änderten. Die Meſsung ſchien hiernach alſo mit auſserordentlicher Leichtigkeit und Sicherheit zu geſchehn, indem man mehrere ſolche pyrometriſche Körper in kleinen geeigneten Tiegeln der Einwirkung des zu prüfenden Feuers ausſetzen, ſie nach einander herausnehmen, ſogleich im Waſſer abkühlen und durch Einſchieben zwiſchen die Leiſten den erreichten Grad der Hitze beſtimmen ſollte.

Wedgwood gab zwar ſogleich die Reſultate einer Menge von Meſsungen an, die er mit dieſem neuen Pyrometer angeſtellt hatte, allein es liegt in der Natur der Sache, daſs dieſe ohne allen Werth ſeyn muſsten, ſo lange das Verhältniſs ſeiner Grade zu denen eines bekannten Thermometers nicht ausgemittelt war, was denn durch ihn auch ſehr bald geſchah[1]. Das hierbei angewandte Verfahren beſtand darin, daſs Wedgwood ſich eine Scale aus convergirenden Leiſten einer Thonmaſſe verfertigte, zwiſchen dieſe ein genau gearbeitetes Stück Silber ſchob und die Grade, die letzteres durch ſeine Ausdehnung zwiſchen dieſen erreichte, mit denen eines Fahrenheit'ſchen Queckſilberthermometers verglich. Auf dieſe Weiſe fand er durch anſcheinend vorſichtig angeſtellte Verſuche, daſs von 50° F. bis zum Siedepuncte des Waſſers 20°,25 F. und vom Siedepuncte des Waſſers bis zum Siedepuncte des Queckſilbers 20° F. einem Grade der neuen Hülfsſcale zugehörten, eine Uebereinſtimmung, die wohl nicht genauer ſeyn konnte. Indem auf dieſe Weiſe eine Zwiſchenſcale zwiſchen der des Queckſilberthermometers nach F. und zwiſchen der Scale des Thonpyrometers durch diejenige erhalten war, womit die Ausdehnung des Silbers gemeſſen wurde, ſo muſste es hiernach leicht ſeyn, jene beiden auf einander zurückzuführen, woraus ſich dann ergab, daſs der Nullpunct der Wedgwood'ſchen Scale mit 1077°, 5 nach Fahrenheit zuſammenfiel und daſs 130° der Fahrenheit'ſchen Scale einem Grade der erſtern gleichkamen.

Nachdem die bis auf den heutigen Tag noch gangbaren Beſtimmungen der höhern und höchſten Hitzegrade durch Wedgwood bereits bekannt gemacht worden waren, zeigte er

1 Phil. Trans. LXXIV. 335.

selbst an[1], daſs die bisher von ihm angewandten, in einer metallnen Form gepreſsten Parallelepipeda von Thon sich nicht allseitig gleichmäſsig zusammenzögen, sondern in den mittlern Theilen mehr schwänden, als in den äuſsern, die bei der Verfertigung compacter geworden waren. Um diesem Uebelstande zu begegnen, verwarf er daher jene Form und wählte die später gebräuchliche eines kurzen Cylinders mit einer der Axe parallel laufenden geraden Fläche, worauf sie beim Einschieben zwischen die Leisten ruhten. Auſserdem ſielen diese Cylinder bei der Verfertigung nicht insgesammt so aus, daſs sie genau auf den Nullpunct in der Scale paſsten, allein solche wurden dennoch nicht verworfen, sondern mit derjenigen Zahl der Grade bezeichnet, um welche sie über diesen Anfangspunct der Scale hinausragten oder hinter ihm zurückblieben, welche Zahlen man daher stets auf den ächten Cylindern ſindet und beim Gebrauche in Rechnung bringen muſs. Die kleinen Quantitäten von Luft, welche in dem Thone nach dem Formen desselben dennoch zurückbleiben, lieſsen sich durch lange fortgesetztes anfängliches Zusammenkneten der Masse fortschaffen, aber Wedgwood entdeckte als unzweifelhaft, daſs die aus den später und an verschiedenen Stellen sorgfältig herausgenommenen Thonmassen verfertigten Cylinder eine von der der erstern abweichende Zusammenziehung erlitten, wodurch also die erwartete Genauigkeit der Messungen mit diesem sinnreich erfundenen Apparate schon frühzeitig durch ihn selbst zweifelhaft gemacht wurde. Um dieser Ursache von Fehlern zu entgehn, machte Wedgwood eine künstliche Zusammensetzung aus der Porzellanerde von Cornwallis und reiner Thonerde, die er aus Alaunerde bereitete, wobei er bemerkt, daſs auch andere Porzellanerden, die frei von Kalk und Eisen sind, gleichfalls zu pyrometrischen Cylindern benutzt werden könnten.

Wedgwood hat sein Pyrometer ohne Zeichnung bloſs beschrieben, man ſindet dasselbe aber in verschiedenen Werken gezeichnet[2] und auſserdem ist es den meisten Physikern aus

1 Phil. Trans. LXXVI. 390.

2 Sehr genau mit vollständiger Beschreibung in Scherer's Journ. für Chemie. Bd. II. S. 50. Vergl. G. VIII. 233. Geiſsler's allgem. Repert. zur pract. Beförd. d. Künste u. Manuf. Bd. II. S. 126. Journ. encycl. 1785. Oct.

Digitized by Google

der Ansicht irgend eines der vielfach verbreiteten Fxemplare bekannt [1]. Auf einer massiven Messingplatte, etwas über 6 par. Zoll lang, 2,5 Z. breit und etwa 1,5 Lin. dick, sind die Leisten a b, c d, e f aufgelöthet, deren Abstand am Anfange 0,5, am Ende 0,3 Zoll beträgt. Auf den beiden äuſserſten Leisten befindet sich die Theilung der Scale, die in der ersten Abtheilung von 0° bis 120°, in der zweiten von 120° bis 240° fortläuft. Zwischen diese werden die Thoncylinder geschoben, wie die Zeichnung eines verticalen, auf ihre Axe lothrechten Durchschnitts angiebt. Sie sind fast 0,5 Z. lang, haben etwas mehr als die doppelte Höhe der zum Messen bestimmten Leisten und berühren daher die sehr scharfen Ränder der Lineale unterhalb einer durch ihre Axe mit ihrer etwas abgeplatteten Seite parallelen Ebene, damit diese Berührung nach dem Schwinden in der Ebene der Axe selbst statt finden möge. Fig. 167. Fig. 168.

Die gebräuchlichen Pyrometer waren und sind noch gegenwärtig sämmtlich von der hier beschriebnen Form, und der veränderte Bau des Instruments, welchen Cavallo [2] in Vorschlag gebracht hat, ist nie allgemein in Gebrauch gekommen. Hiernach besteht dasselbe aus zwei über einander verschiebbaren Linealen mit zwei beweglichen, durch Schrauben festzustellenden Backenstücken, zwischen welche der Thoncylinder gelegt und dann der Nonius auf 0 gestellt wird. Bringt man den durch die gemessene Hitze geschwundnen Cylinder nachher wieder zwischen die Backen und schiebt man die obere Leiste über der untern hin, bis die Backenstücke den Cylinder berühren, so zeigt der Nonius und die Scale die Grade des Wedgwood'schen Pyrometers und Theile derselben, um welche sein Volumen geschwunden ist. Fig. 169.

Wedgwood's Pyrometer wurde von vielen, namentlich französischen, Gelehrten mit gröſserer oder geringerer Sorgfalt geprüft [3], von mehrern derselben, unter denen ich bloſs Pictet [4]

---

1 Die folgende Beschreibung ist nach einem solchen ächten Exemplare gemacht.

2 Aus den Ann. des Arts in Voigt's Magazin. Bd. V. Heft 2. S. 129.

3 Gehlen neues Journ. Bd. II. S. 637.

4 Biblioth. Brit. T. IV. p. 413.

und de Saussüre[1] nennen will, mit auſserordentlichem Beifalle aufgenommen, andere dagegen fanden[2], daſs es groſse Anomalieen gebe, und Brongniart[3] behauptete sogar, es verdiene durchaus kein Vertrauen. Am ausführlichsten und gründlichsten wurde dasselbe indeſs geprüft durch Guyton de Morveau[4]. Dieser zeigte, daſs vor allen Dingen die Ausdehnung des Silbers, worauf der Erfinder die Vergleichung seiner Pyrometerscale mit der des Fahrenheit'schen Thermometers gegründet habe, zu ungewiſs und durch Wedgwood keineswegs richtig bestimmt sey. Auſserdem bezweifelt er, daſs es eine erdige Mengung von dem constanten Gehalte von 0,6 Thon gebe, wie auch daraus hervorgehe, daſs Wedgwood selbst später die ursprünglich gebrauchte Masse nicht weiter gefunden habe und durch diesen Umstand gezwungen worden sey, Thon zuzusetzen. Eine in mehrern Zeitschriften[5] enthaltene Analyse gebe an, daſs die Cylinder bloſs 0,25 Thon, 0,64 Kieselerde und 0,06 Kalk enthalten. Vauquelin dagegen habe 47,35 Kieselerde, 44,29 Thon und 8,36 Wasser in ächten und unmittelbar vom Erfinder erhaltenen Cylindern gefunden. Guyton selbst fand in diesen 54,7 Thon, 43,7 Kieselerde und 1,531 Verlust, Vauquelin aber in andern, aus derselben Quelle gleichzeitig erhaltenen, 25,0 Thon, 64,2 Kieselerde, 6,0 Kalk, 0,2 Eisenoxyd, 6,2 Wasser und eine schwache Spur von Talk[6]. Deswegen kam Gazeran[7] auf die Idee, daſs eine in Frankreich gefundene Porzellanerde die englische ersetzen könne. Er fand in derselben 34,09 Thon, 43,11 Kieselerde, 19,25 Wasser, 2,3 Kalk, 0,75 Eisenoxyd und 0,5 Verlust, weswegen er vorschlug, die pyrometrischen Cylinder aus 34 reiner Thonerde und 43 Kieselerde künstlich zusammenzu-

---

1 Journ. de Phys. Ann. 1794. p. 10.

2 Journ. des Mines. T. XIV. p. 42.

3 Traité élém. de Mineral. T. I. p. 514. T. II. p. 81.

4 Essay de Pyrometrie. Par. 1808. Mém. de l'Inst. 1808 u. 1811. Ann. de Chim. LXXIV. 47 u. 129. LXXVIII. 73.

5 Ann. des Arts et manuf. Ann. X. p. 302. Scherer's Journ. a. a. O.

6 Andre Analysen dieser Thonkugeln, welche nicht völlige Uebereinstimmung gaben, übergehe ich.

7 Ann. des Arts. T. VII. p. 303. Ann. de Chim. XXXVI. 100. G. VIII. 233.

Digitized by Google

setzen, weil man sie auf diese Weise überall leicht und von ganz gleichmäſsiger Mischung erhalten könne. Allein Guyton de Morveau erinnert dagegen mit Recht, daſs es hauptsächlich auf die Regelmäſsigkeit und Gleichheit der Zusammenziehung durch die Hitze ankomme, die nicht bei den verschiednen Porzellanerden gleichmäſsig gefunden werde und nicht ausschlieſslich von den Bestandtheilen, sondern zugleich auch von der Art und Innigkeit der Mischung abhänge. Es ergab sich auch bald durch directe Versuche, daſs die unächten, künstlich gemachten Cylinder rücksichtlich ihrer Zusammenziehung durch Hitze weder unter einander, noch mit den von Wedgwood erhaltnen übereinstimmten. Aber de Saussüre [1] wies auch nach, daſs selbst die ächten Cylinder in gleichen Hitzegraden ungleiche Zusammenziehungen erlitten, und dieser Vorwurf, welcher den Thonpyrometern auch von verschiednen andern Seiten gemacht worden, also gewiſs begründet ist, muſs daher von jedem Versuche, irgend einen andern Körper auf gleiche Weise anzuwenden, abschrecken, weil es dabei immerhin ungewiſs bleibt, ob die Zusammenziehung überall gleich und gleichmäſsig erfolgt und die angewandte Masse stets von unveränderter Beschaffenheit zu haben ist, denn anfänglich äuſserte Wedgwood über diese beiden nothwendigen Bedingungen rücksichtlich der Porzellanerde von Cornwallis nicht die mindesten Zweifel. Eben daher scheint auch der Vorschlag von Sivright [2], statt der Thoncylinder solche von chinesischem Speckstein (Agalmatolith) zu nehmen, weil diese sich durch Hitze gleichmäſsig und regelmäſsig zunehmend zusammenziehn, auch den höchsten Hitzegraden widerstehn sollen, überall nur wenig beachtet worden zu seyn.

Spätere Untersuchungen von Guyton de Morveau [3], verglichen mit den Resultaten, welche Kennedy, Thomson, J. Hall und d'Arcet erhalten hatten, ergaben noch augenfälliger die Fehler der von Wedgwood gegebnen Grundbestimmung seines Pyrometers, obgleich Guyton de Morveau übrigens die regelmäſsige Zusammenziehung der Cylinder nicht

1 Journ. de Phys. LII. 294.

2 Edinb. Phil. Journ. N. XI. p. 180.

3 Mém. de l'Inst. Ann. 1811. 2me sem. p. 89. Abgekürzt in Ann. de Chim. XC. 113.

geradezu und unbedingt in Abrede stellt, jedoch diesemnach ganz abweichende Angaben der zum Schmelzen der Metalle und sonst erforderlichen Hitzegrade erhält. Nach ihm nämlich fängt der Nullpunct der Wedgwood'schen Scale schon bei 510° F. (270° C.) statt 1077° F. an, und jeder Grad jener Scale correspondirt mit 61°,2 F. (34° C.) statt 130° F., welches übrigens ungleich besser mit den spätern und hiervon unabhängigen Bestimmungen Daniell's übereinstimmt. Prüft man die Angaben von Guyton de Morveau, insbesondere mit Rücksicht auf die spätern Arbeiten Daniell's, so ergiebt sich durch die Menge der beigebrachten Thatsachen und ihre Uebereinstimmung unter einander, daſs das Wedgwood'sche Pyrometer mit der vom Erfinder gegebnen Scale und deren Werthen nicht füglich als sicher anzunehmen sey. Wollte man statt dessen die verbesserte Scale von Guyton substituiren, so gäbe dieses zwar höchst wahrscheinlich richtigere Resultate, allein es fehlt auch dann auf jeden Fall die bei einem Meſswerkzeuge unerläſslich nothwendige Sicherheit, und da der Erfinder desselben sogleich nach der ersten Bekanntmachung die Ungleichheit der vorhandenen Porzellanerde selbst zugestand, das Instrument auch später gegen die gemachten Einwendungen nicht in Schutz nahm, vielmehr offen bekannte, daſs seine Pyrometercylinder sich nicht mehr in dem nämlichen Maſse, als früher, zusammenzögen, weil die ganz gleichförmige Porzellanerde nicht mehr gefunden werde[1], so muſs dieses Pyrometer aus der Reihe der genügenden Apparate gestrichen werden, wie einfach und sicher auch das Princip seyn mag, worauf es beruht, so lange die vollkommene Gleichheit der zu den Cylindern genommenen Masse nicht mit Gewiſsheit nachgewiesen werden kann.

Guyton de Morveau prüfte das eben beschriebene Pyrometer hauptsächlich durch ein von ihm selbst erfundenes, aus Platin und hart gebranntem Thone verfertigtes[2]. Dasselbe besteht aus einer Platte von hart gebranntem Thone A mit einer eingelegten Platinstange d, 45mm (1 Z. 7,948 Lin.) lang, 5mm (2,216 Lin.) breit und 2mm (0,887 Lin.) dick, welche mit

Fig. 170.

1 So erzählt J. C. Fischer in: Tagebuch einer Reise über Paris nach London. Aarau 1816. 8. S. 107.

2 Ann. de Chim. XLVI. 276. Französ. Ann. cet. von Pfaff und Friedländer. 1807. St. IX. S. 30. Nicholson Journ. T. VI. p. 89.

dem einen abgerundeten Ende gegen den Rand des Falzes oder der Vertiefung gestemmt ist, in welcher sie liegt, mit dem andern gegen den kürzern Hebelarm der Platinnadel a b drückt, die in b ihren Drehpunct hat. Der kürzere Arm dieser Nadel ist 2,5 Millim. (1,108 Lin.), der längere 50^{mm} (1 Z. 10,165 Lin.) lang, also findet hierbei das Verhältniſs von 1 zu 20 statt oder die Ausdehnung der Platinstange wird durch die ungleiche Länge der Hebelarme zwanzigfach vermehrt. Auf der Platte F befindet sich eine Scale und die Spitze der Nadel a ist mit einem Nonius versehn, durch welchen Zehntel der Grade abgelesen werden. Wenn man also diese Theile der Grade mit der absoluten Ausdehnung der Stange d vergleicht, so erhält man hierdurch den 200sten Theil derselben, und da nach der Bogentheilung in 400 Grade für einen Radius von 50^{mm} ein Grad 0,78538 Millim. beträgt, wovon 0,078538 Millim. vermittelst des Nonius abgelesen werden, so beträgt ein solcher Theil gegen die vermittelst des Hebels zwanzigfach vermehrte Länge der Stange d von 45^{mm} Länge $\frac{900}{0,078538} = 11459$ oder den 11459sten Theil des Ganzen[1]. Damit aber die Nadel beim Herausnehmen des Instruments aus dem Ofen nicht zurückgeht, sondern auf dem äuſsersten erreichten Puncte stehn bleibt, wird ihre Spitze durch die Feder s festgehalten.

Das hier beschriebene Pyrometer empfiehlt sich ausnehmend sowohl durch die Einfachheit seiner Construction, als auch durch die Feinheit seiner Scale und die hieraus folgende Empfindlichkeit. Wenn man daher annehmen dürfte, daſs die zu gröſserer Sicherheit in eingelassenen Stücken von Platin befestigten Stifte nicht wankend würden, also daſs die Drehungen und Bewegungen ohne Schlottern erfolgen könnten und die Stangen in der Hitze nicht erreichten, so könnte dieses Werkzeug nicht bloſs sichere, sondern selbst auch die

1 In der französischen und deutschen Beschreibung des Instruments ist nur die Hälfte dieser Gröſse zu 5730 angegeben, indeſs sehe ich nicht ein, wie dieses aus den zum Grunde liegenden Bestimmungen folgt. Uebrigens müssen bei dem kleinen Halbmesser die Bogentheile so klein werden, daſs das Ablesen derselben nur vermittelst der Loupe geschehn kann.

feinsten und genauesten Resultate geben, da die demselben zum Grunde liegende Ausdehnung des Platins durch Wärme mit groſser Bestimmtheit aufgefunden ist. Allein wenn man auch diese keineswegs begründeten Voraussetzungen zugestehn wollte, so steht demselben dennoch die Ungewiſsheit entgegen, ob nicht die aus Thonmasse verfertigte Platte in der Hitze eine Veränderung erleidet, die den richtigen Gang des Apparats nothwendig aufheben müſste. Schwerlich würde man diesem Fehler begegnen können, wenn man die letztere Veränderung auszumitteln und in Rechnung zu nehmen suchte, oder wenn man zu der Gewiſsheit gelangte, daſs die Ausdehnung oder Zusammenziehung der Thonmasse durch Hitze nach dem Erkalten unverändert bliebe. Leider sind alle diese Bedingungen in der Wirklichkeit nicht wohl zu erreichen, und hierin liegt ohne Zweifel der Grund, warum dieses Pyrometer bloſs von dem Erfinder praktisch angewandt worden zu seyn scheint.

Im Wesentlichen ist dasselbe indeſs das nämliche, dessen sich Brongniart zum Ausmessen der Hitze in den Porzellanöfen zu Sèvres bediente und wovon Biot [1] bloſs eine ungefähre Beschreibung mittheilt; denn die messende Substanz war bei diesem gleichfalls eine Stange von Platin, welche durch ihre Ausdehnung den kurzen Hebelarm einer langen Platinnadel in Bewegung setzte, deren Spitze auf einem getheilten Bogenstücke die Gröſse der Verlängerung angab. Die Trägerplatte des Instruments bestand bei diesem entweder aus einer sehr unschmelzbaren Thonmasse, oder aus Graphit; es ist mir jedoch nicht bekannt, ob und welche richtige Resultate er vermittelst desselben erhalten hat.

In den neuesten Zeiten hat sich vorzüglich J. F. Daniell [2] mit der Construction der Pyrometer beschäftigt und als Mittel der Messung gleichfalls das Platin angewandt. Dasjenige Werkzeug, dessen er sich hauptsächlich zu den zahlreichen von ihm bekannt gemachten Messungen bediente, besteht aus einem ungefähr 24 Zoll langen Rohre abc von feuerfestem Thone und Graphit, welches bei a verschlossen, bei c offen,

Fig. 171.

1 Précis élém. de Phys. 3me ed. T. I. p. 228. Traité I. 149.

2 Journal of Sciences cet. N. XXII. p. 309. Bibl. univ. XVIII. 239.

und bei b etwas aufgetrieben ist. Diese Röhre ist genau passend in die messingne Hülse d geschoben, worauf die Träger der Scale fghe befestigt sind. Im Innern der Röhre ist ein Platindraht 10,2 Zoll lang, 0,14 Zoll dick in a befestigt, ruht in b auf einem kleinen Querdrahte und ist mit dem andern Ende bei b mit einem zweiten Drahte, gleichfalls von Platin, verbunden, welcher jedoch weit dünner ist, nämlich nur 0,01 Zoll dick. Letzterer tritt in der Gegend der anfangenden Scale, bei e, aus der Röhre, ist daselbst einigemal um die Welle eines kleinen gezahnten Rads geschlungen, mit einem Schräubchen befestigt, wieder rückwärts gezogen, zwischen m und n schraubenförmig aufgewunden, um federnd anzuziehn, und ist endlich bei n an die messingne Hülse befestigt. Die Welle des kleinen Rads hat 0,062 Zoll Durchmesser, die Zähne des Rads aber fassen in ein feines Getriebe, an dessen Axe der Zeiger festsitzt, welcher auf der Scale die Grade der Hitze anzeigt. Anstatt den Draht selbst um die Welle zu schlingen, hat man es später vorgezogen, ihn an einen seidnen Faden zu knüpfen, diesen um die Welle zu wickeln, dann mit einer kleinen Spiralfeder zu verbinden und letztere bei n zu befestigen. Die Scale besteht aus einem in 360 Grade getheilten ganzen Kreise, und man graduirt den Apparat, indem man das Ende desselben verschiednen Temperaturen aussetzt und hiernach den Werth der Grade bestimmt, die der Zeiger durchläuft, welcher den Unterschied der Ausdehnung des Platindrahts und seiner Hülle angiebt. Am geeignetsten soll es seyn, die Röhre ab mit Quecksilber zu füllen und vom Frostpuncte des Wassers bis zum Siedepuncte des Quecksilbers die vom Zeiger durchlaufnen Grade zu messen, deren jeder bei einem vom Erfinder gebrauchten Exemplare 7° F. betrug, so daſs das Pyrometer also vom Gefrierpuncte an gerechnet 2520 Grade des Fahrenheit'schen Thermometers umfaſst. Es ist dabei wohl nothwendig, die Hülle ab zuvor der stärksten Hitze auszusetzen, um ihre Güte zu prüfen, und sie nachher beim Gebrauche in hohen Temperaturen mit einem Ueberzuge zu versehn, damit sie sich nicht verglast und beim Abkühlen nicht springt; auch muſs man beim Graduiren dahin sehn, daſs das erhitzte Quecksilber den Platindraht nicht amalgamirt.

Das Pyrometer ist nach dieser Beschreibung im höchsten

Grade mangelhaft, und man begreift kaum, wie mit demselben überhaupt nur genäherte Resultate zu erhalten sind. Es dürfte hierbei nur wenig in Betrachtung kommen, daſs die Ausdehnung des Platins durch Wärme nicht stets regelmäſsig, sondern zunehmend ist, wonach also die angezeigten Grade den wirklichen Temperaturen voreilen müssen, aber ungleich bedeutender ist schon der Umstand, daſs man das Verhalten des gebrannten Thons in der Hitze gar nicht genau kennt, indem derselbe füglich bei anfangender Erhitzung an Volumen zunehmen und bei fortgesetzter wieder abnehmen kann, wodurch die Messungen im höchsten Grade unrichtig werden müſsten. Am wichtigsten aber ist der Umstand, daſs der zum Messen bestimmte Draht etwas über 10 Zoll Länge hat, das ganze Instrument etwa 24 Zoll lang angenommen, wonach es also ganz unbestimmt bleibt, der wievielste Theil desselben der zu messenden Hitze ausgesetzt wird. Hierzu kommt aber noch der Umstand, daſs in dem Falle, wenn die Hitze auf die ganze Länge dieses Drahts wirkt, auch das angeknüpfte Ende des dünnern Drahts durch dieselbe afficirt werden muſs, und man diesemnach nicht wissen kann, welche Länge desselben durch die Hitze ausgedehnt wurde. Indem aber alle diese Fehler unvermeidlich aus der Natur des Instruments hervorgehn, so folgt hiernach von selbst, daſs dieses Pyrometer auf die nothwendigen Erfordernisse der Sicherheit und Bestimmtheit gar keine Ansprüche machen kann.

Daniell hat seine pyrometrischen Untersuchungen später fortgesetzt und eine neue Construction seines Meſsapparats bekannt gemacht, den er ein registrirendes oder die Grade selbst aufzeichnendes Pyrometer (*registering pyrometer*) nennt[1]. Er bekennt selbst, daſs ihm bei der ersten Mittheilung seiner Abhandlungen die Arbeiten von Guyton de Morveau, namentlich die Construction des durch diesen vorgeschlagnen Platinpyrometers, gar nicht bekannt gewesen sey, bringt aber gegründete Einwürfe gegen dasselbe vor, hauptsächlich daſs der feine Zeiger und die Stifte der Winkelhebel in hohen Hitzegraden sich

1 Phil. Trans. 1829. p. 79. 1831. p. 257 u. 443. Hieraus sind die vom Verf. revidirten Abhandlungen aufgenommen in Phil. Mag. and Annals New Ser. T. X. p. 191. 263 u. 350. London and Edinb. Phil. Mag. N. III. p. 197. N. IV. p. 261.

Digitized by Google

biegen, ja selbst zusammenschweiſsen müſsten, wonach also auf richtige Resultate gar nicht zu rechnen sey. Ueber sein eignes früheres Pyrometer urtheilt er, daſs es allerdings für wissenschaftliche Bestimmungen und in eigends gebauten Oefen angewandt werden könne, keineswegs aber dem Techniker für hohe Hitzegrade ähnliche Dienste leiste, als das gewöhnliche Thermometer für niedere. Guyton's verbesserte Bestimmungen des Wedgwood'schen Pyrometers, wonach der Nullpunct der Scale bei 517° F. liegen und 1° W. mit 62°,5 F. correspondiren solle [1], erzeugen dann eine ziemlich nahe Uebereinstimmung zwischen den mit dem Wedgwood'schen und dem Daniell'schen Pyrometer erhaltenen Bestimmungen hoher Hitzegrade, jedoch kann die Messung vermittelst der Thoncylinder wegen stets ungewiſs bleibender Zusammenziehung derselben nie auf einen erforderlichen Grad der Genauigkeit Anspruch machen.

Das neue Pyrometer besteht aus dem der Hitze auszusetzenden Theile und dem eigentlichen Meſsapparate, welche beide einzeln für sich bestehn. Der erstere ist eine solide Stange Reiſsblei oder ein aus einem gemeinen Graphittiegel ausgeschnittenes Stück DD, DD, 8 Zoll lang, 0,7 Z. breit und Fig. 172.
eben so dick. In diesen ist ein rundes Loch 7,5 Z. tief und 0,3 Z. weit gebohrt und zur Aufnahme der Platinstange ooq bestimmt. Auf dieser ruht der Index rt von Porzellan, welcher vor dem Versuche bis zur Berührung der Platinstange niedergedrückt wird, wodurch man die letztere zugleich fest gegen den Boden der Höhlung in dem Graphitstücke preſst. Die vierkantige Graphitstange ist am obern Ende in einer Länge von 0,6 Z. bis zur Mitte ihrer Höhlung weggeschnitten, so daſs die hierdurch gebildete Fläche mit jeder der beiden Seitenflächen genau einen rechten Winkel bildet, die eingesenkte Porzellanstange aber wird durch einen umgewickelten, durch den aus Porzellan bestehenden Keil s gestrafften, Platindraht festgehalten. Der Meſsapparat besteht aus einer Regel AA Fig. 173.
von Messing, auf deren unterer Seite die Schiene aa vermittelst der Schrauben b, b, auf der obern dagegen die kleine

1 Diese Bestimmungen weichen etwas von den oben mitgetheilten ab; es ist aber schwer, sie mit gröſster Schärfe aus den ausführlichen Untersuchungen aufzufinden.

Regel a′ befeſtigt iſt. Der Gebrauch des ganzen Inſtruments wird ſchon aus dieſer Beſchreibung klar. Befindet ſich nämlich die Meſsſtange (die zwar von jedem minder ſchmelzbaren Metalle gemacht ſeyn kann, am ſicherſten aber ein für allemal von Platin genommen wird) o o q in der Höhlung des Graphitſtücks und iſt der Index von Porzellan bis zur Berührung derſelben gebracht, ſo drückt man den Zeiger CC nieder, legt die Regel AA an die Seite DD des Graphitſtücks, ſchiebt den hervorragenden Theil a a unter dieſelbe und das Stück a′ über den obern Einſchnitt, wodurch alſo der Meſsapparat an drei Flächen mit dem Graphitſtücke zur genauen Berührung kommt. Zugleich drückt dann der kürzere Hebelarm h, welcher zur Erreichung einer genauern Berührung von polirtem Stahle gemacht iſt, gegen den porzellanenen Index t r, und die auf dem Gradbogen abgeleſenen Grade geben die Länge der Platinſtange und des Index vor dem Verſuche an.

Der Meſsapparat iſt etwas künſtlich conſtruirt und erfordert daher noch eine nähere Erläuterung. Die Regel AA iſt oben verlängert und zurückgebogen, am Ende d aber iſt der Träger des Bogenſtücks e e mit einem um das Centrum c beweglichen Scharniere befeſtigt, ohne Zweifel zu dem Zwecke, damit man durch untergelegte dünne Bleche das Bogenſtück ſo weit heben kann, daſs der Nonius g auf o einſteht, wenn vor dem Verſuche die Spitze des kürzern Hebelarms h die Oberfläche t des Index berührt, wodurch die Meſsung bequemer wird, obgleich man auch von jeder niedrigern Eintheilung zu einer höhern übergehn kann. Auf dem Träger B des Bogenſtücks e e iſt eine kleine Stahlfeder m m feſtgeſchraubt, welche gegen einen Stift bei n drückt und den Träger des Nonius hebt, ſo daſs der Hebelarm h jederzeit mit der Fläche t in Berührung bleibt. Dieſer Träger des Nonius CC iſt um den Stift f drehbar, hat ein Verhältniſs der Längen beider Hebelarme von 1 zu 10; die Art der Theilung iſt theils aus der Figur kenntlich, theils iſt ſie willkürlich und bedarf keiner weitern Erläuterung, minder kenntlich dagegen iſt die Loupe i, die in der Zeichnung flach niedergelegt erſcheint, zugleich aber um das Scharnier bei k und ein zweites bei l ſo bewegt werden kann, daſs man die Scale und den Nonius durch ſie abliest.

Endlich ist der Gebrauch des Instruments hiernach von selbst klar. Man legt nämlich vor dem Versuche die Regel des Meſsapparats so genau an die Flächen des Graphitstücks, daſs die Flächen zur innigen Berührung kommen, wobei dann eigentlich der Nonius auf 0 einstehn muſs, wenn die Spitze h die obere Fläche des porzellanenen Index t berührt, obgleich er auch auf irgend einem andern Puncte der Theilung stehn kann. Alsdann wird der Meſsapparat weggenommen und das Graphitstück mit dem Platindrahte und dem porzellanenen Index der zu prüfenden Hitze ausgesetzt, wodurch der Index in Folge der Ausdehnung des in der Röhre befindlichen Platindrahts sich hebt, wegen der Reibung aber nach dem Erkalten nicht wieder zurückfällt. Der Meſsapparat wird dann abermals angelegt und der Nonius zeigt, wenn h wiederum mit t in Berührung gebracht ist, die erzeugte Verlängerung vermittelst der durchlaufenen Grade, wenn der Nonius vor dem Versuche auf 0° stand, unmittelbar, oder durch Subtraction der vor dem Versuche abgelesnen Grade von denen nach dem Versuche. Das Ziel des Ganzen ist also kein anderes, als die Ausdehnung des Platins durch Wärme mit gröſster Schärfe vermittelst einer Art von Fühlhebel zu messen und hiernach den erreichten Hitzegrad zu bestimmen. Es liegt sehr nahe bei der Sache, daſs man aus der bekannten Ausdehnung des Platins bei bestimmter Länge der zum Messen verwandten Stange dieses Metalls und dem gegebenen Verhältnisse der Hebelarme die vom Zeiger durchlaufenen Grade auf die eines bekannten Thermometers zurückführen könne.

Daniell hat eine Menge Messungen mit diesem Pyrometer angestellt, deren Resultate sowohl unter sich als auch mit andern Erfahrungen hinlänglich genau übereinstimmen, allein es ist dennoch auf keine Weise zu verkennen, daſs dasselbe unmöglich auf Zuverlässigkeit Anspruch machen könne. Die Gründe der Unsicherheit liegen hauptsächlich in der Ungewiſsheit der Einwirkung, welche die Hitze gegen das Graphitstück ausübt, indem dieses nothwendig gleichfalls, aber um eine unbekannte Gröſse, ausgedehnt werden oder auch schwinden muſs. Auſserdem aber kann es leicht kommen, daſs der umwickelte Platindraht in der Hitze länger wird und das ohnehin schwindende Porzellanstück den Index etwas weiter fortgleiten läſst, als die Ausdehnung der Platinstange dasselbe

treibt. Ganz diesem entgegengesetzt kann aber jener umwickelte Draht das Porzellanstück festhalten, indem er etwas gestreckt und federnd dasselbe beim Erkalten wieder zurückzieht. In jenem ersten Falle würde hiernach die Hitze zu groſs, im letzten dagegen zu klein gefunden werden. Nimmt man endlich hierzu, daſs auch das Verhalten des porzellanenen Index bei der Messung sehr in Betrachtung kommt, keineswegs aber mit völliger Sicherheit bestimmt ist, so liegen in allen diesen Bedingungen hinlängliche Gründe, dem Instrumente die zur scharfen Bestimmung so kleiner Gröſsen erforderliche Genauigkeit des Messens abzusprechen, obgleich Daniell sich bemüht hat, durch zahlreiche Versuche vermittelst der bekannten Ausdehnung verschiedner Metalle, die er als Mittel zu pyrometrischen Messungen benutzte, den Einfluſs der Graphithülle und des porzellanenen Index auszumitteln und in Rechnung zu nehmen.

Neuerdings hat A. Neumann[1] die Construction eines Pyrometers aus Platin angegeben, welches mindestens bis zur Weiſsglühhitze einen hohen Grad von Genauigkeit mit vorzüglicher Bequemlichkeit verbindet und alle bisher angegebene bei weitem übertrifft. Zwar ist dasselbe noch nicht wirklich ausgeführt, also auch nicht durch Versuche geprüft worden, allein der Bau desselben ist so deutlich, daſs sich jenes Urtheil mit einem hohen Grade der Sicherheit auf bekannte Thatsachen gründen läſst. Auſserdem hat dasselbe den Vorzug, daſs es von beliebigen Graden unter dem Schmelzpuncte des Eises bis zur Glühhitze alle Temperaturgrade anzuzeigen geeignet ist; aber eben aus diesem Grunde glaube ich dasselbe unter die Classe der Thermometer aufnehmen zu müssen, worauf ich daher hier verweise[2].

Gerade in diesem Augenblicke ist mir indeſs ein Pyrometer bekannt geworden, welches nach wiederholten, von mir selbst, nebst dem Erfinder desselben, dem nachher mehrmals wegen seiner sinnreichen Verbesserungen der Luftpyrometer zu erwähnenden Petersen, angestellten Versuchen zwischen 0° bis 100° C. so ausnehmend genaue Resultate giebt, daſs es aus dieser Ursache, und da es obendrein sicher bis 800° C.,

1 Baumgartner u. v. Ettinghausen Zeitschrift Bd. X. S. 284.

2 S. Art. *Thermometer*; *Metallthermometer*.

also bis zur Glühhitze, nach angestellten Proben gebraucht werden kann, vielleicht aber bis an die Grenze seiner Scale, nämlich von — 20° C. bis + 2000° C. Anwendung leidet, die Aufmerksamkeit der Physiker und Pyrotechniker im hohen Grade verdient. Dasselbe hat eine Aehnlichkeit mit demjenigen, dessen sich Brongniart bei den Fabriken zu Sèvres bedienen soll, welches aus einer thönernen Röhre mit einem in ihrem Innern eingeschlossenen metallnen Cylinder und einer Fortsetzung von einem gleichfalls thönernen Cylinder besteht, dessen äuſseres Ende einen silbernen Zeiger bewegt. Es ist mir jedoch keine genauere Beschreibung dieses letztern, welches ich blos aus mündlichen Erzählungen kenne, bekannt.

Das obige Pyrometer besteht aus einem hohlen, ungefähr 4 Fuſs langen Parallelepipedon von Schmiedeeisen AB, wo- Fig. 174.
von die äuſsern Seiten des Querschnitts etwa 1 und 0,5 Zoll betragen. Ueber dem Boden dieser Hülle befindet sich eine, mit zwei starken Schrauben *a*, *a* befestigte Platte, die zugleich durch die letzern regulirt werden kann. In ihrer Mitte ist ein nur wenige Zoll langer Cylinder von Platin festgelöthet, dessen anderes Ende vermittelst vier Schrauben unverrückbar mit einer eisernen Stange verbunden ist, die von d bis zur Vorrichtung e des Zeigers reicht. Daselbst wird das Ende vermittelst der beiden Streben β, β' durch eine unter dem Rande liegende starke Feder op stets angedrückt und in unverrückter Lage erhalten. Am Ende der Eisenstange ist eine feine Stahlfeder angebracht und um denjenigen Stift geschlungen, an welchem der Zeiger festsitzt. An demselben Stifte ist ein zweiter Metalldraht befestigt, welcher durch eine an der Seite angebrachte Feder n stets gestrafft wird und daher den Zeiger zurückzieht, so daſs dieser, nach entgegengesetzten Seiten hin mit groſser Kraft gezogen und mit seinem Nonius auf der Scale durch dichtes Aufliegen sich reibend, selbst bei starken Erschütterungen nicht schlottert.

Aus dieser Beschreibung wird die Wirkungsart des Apparats von selbst klar. Wird nämlich das untere Ende der zu messenden Hitze ausgesetzt, die allezeit auf die ganze Länge der eben aus dieser Ursache so kurzen Platin-Stange wirken kann, so dehnt sich sowohl diese, als auch das Eisen der Hülle aus, die gleichzeitigen unbestimmbaren, nach der Länge

Digitized by Google

des der Hitze ausgesetzten Theils verschiedenen Ausdehnungen der innern Eisenstange und der äuſsern Hülle sind als einander gleich ohne Einfluſs und es wird letztere deswegen an ihrem obern Theile bis ungefähr zur Mitte ihrer ganzen Länge mit Eggen (Randstreifen) von Tuch, als einem schlechten Wärmeleiter, umgeben, damit sie nicht merklich schneller, als der innere Cylinder, erkalte. Weil sich aber die Platinstange weniger als das Eisen ausdehnt, wobei sich von selbst versteht, daſs beide Metalle nach der Bearbeitung nochmals ausgeglüht werden, um ihre künftige Ausdehnung zu einer stets regelmäſsigen zu machen, so bleibt die Länge des innern Cylinders gegen die der Hülle bei wachsenden Temperaturen zurück, und diese Differenz wird durch den Zeiger angegeben. Die mit unbewaffneten Augen zwar genügend sichtbare, mit der Loupe aber schärfer abzulesende Scale ist von 20° zu 20° C. getheilt, der Nonius giebt 2° C. unmittelbar, durch Schätzung aber 0°,5 C. mit genügender Schärfe; die Empfindlichkeit des Apparats ist so groſs, daſs die Unterschiede der Temperaturen in verschiedenen Zimmern nach etwa 2 bis höchstens 5 Minuten genau zum Vorschein kommen, bei wiederholten Versuchen zwischen 10° und 100° C. erreichten aber die Fehler für jeden Beobachter nie völlig 0°,5 C. Eben diese Empfindlichkeit muſs auch bis zu den höchsten erreichbaren Hitzegraden fortdauern, die soweit gesteigert werden können, bis die Form der Metalle sich ändert oder ihre Verbindungen eine Zerstörung erleiden, worüber bis jetzt wegen des niedern Standpuncts, worauf sich die Pyrometrie noch befindet, keine Entscheidung möglich ist; wie groſs aber die Genauigkeit des Apparats in höhern Graden sey, hängt von dem Verhältnisse der Ausdehnungsgesetze für Platin und Eisen ab, die bis jetzt zwar gleichfalls noch unbekannt sind, nach groſser Wahrscheinlichkeit aber keine bedeutenden Unrichtigkeiten veranlassen werden [1].

Schon Cornelius Drebbel kannte die Eigenschaft der atmosphärischen Luft, durch Wärme regelmäſsig ausgedehnt zu werden, und benutzte dieselbe zu seinen Thermometern, es

---

1 Die für die Wissenschaft sehr wichtigen Pyrometer dieser Art werden vom hiesigen Mechanicus Schmidt für 8 Louisd'or ohne Emballage verfertigt.

ſcheint aber nicht, daſs weder er ſelbſt, noch irgend einer der zahlreichen Gelehrten, welche ſich ſpäter mit Unterſuchungen über das Ausmeſſen der Wärme beſchäftigt haben, die Aufgabe weiter verfolgten, mittelſt der regelmäſsig fortſchreitenden Ausdehnung der Luft die höhern Hitzegrade zu beſtimmen. Ich finde nämlich bloſs einen Vorſchlag von J. G. Schmidt[1] zur Verfertigung eines Luftpyrometers aus einer hohlen Platinkugel mit einem langen, ſehr engen Rohre. Die eingeſchloſſene Luft ſoll vor dem Einbringen der Kugel in den Ofen zum Meſſen der Hitze durch Kali ausgetrocknet werden, das enge Rohr aber mündet luftdicht in ein kleines, halb mit Waſſer gefülltes Gefäſs, und indem dann die Luft in der erhitzten Kugel ausgedehnt wird und auf das Waſſer des Gefäſses drückt, erhebt ſich dieſes in einer engen eingetheilten Glasröhre und zeigt ſomit die Grade der Hitze. Guyton de Morveau[2], dem dieſe Idee bekannt war, findet ſie allerdings ſinnreich, vermuthet jedoch wohl mit Recht, daſs der Erfinder den Apparat niemals wirklich ausgeführt, ja ſelbſt nicht einmal alle Schwierigkeiten vorausgeſehn habe, die zu überwinden wären, wenn die Platinkugel ihre Unſchmelzbarkeit beibehalten und daher jede Löthung vermieden werden ſollte. Die letztere Einwendung iſt zwar wohl nicht völlig gegründet, allein die Ausführung des Apparats iſt dennoch mit Schwierigkeiten verbunden, deren Ueberwindung in der allgemeinen Beſchreibung gar nicht beſtimmt angegeben wird.

Auf das nämliche Princip der Luftausdehnung iſt ein ähnliches Pyrometer gegründet, welches Mill[3] in Vorſchlag gebracht hat. Dasſelbe beſteht aus einer hohlen Platinkugel A Fig. 175.
von etwa 0,5 Z. im Durchmeſſer an einer Röhre B von demſelben Metall und etwa 1 Lin. weit, deren Länge nicht angegeben iſt und daher der Willkür anheim geſtellt bleibt. Das andere Ende dieſer Röhre iſt mittelſt eines Anſatzes an die Luftprobe befeſtigt, die aus einer heberförmig gebognen Glasröhre CD mit etwas Queckſilber beſteht, an deren oberem Ende ſich eine Kugel D von gleichem Inhalte als dem der

1 Nicholson's Journal. 1805.

2 Mém. de l'Inst. An. 1811. P. II. p. 104.

3 Ann. de l'Indust. nat. et étrang. N. 77. Daraus in Wiener Zeitſchrift Bd. II. S. 75.

Platinkugel befindet. Wenn also der Inhalt der Kugel und der ihr zugehörigen Röhre bis an das eine Ende der Quecksilbersäule gerade so groſs ist als der der andern Kugel mit ihrer Röhre, so wird bei jeder Temperatur das Ende des Quecksilberfadens bis zum Anfangspuncte der auf einer gläsernen oder metallnen Platte befindlichen Scale EF reichen, an dieser aber aufsteigen, sobald die Luft in der Platinkugel erhitzt wird. Um die Kugel und Röhre von Platin durch die Einwirkung des Feuers nicht leiden zu lassen, steckt man sie beim Gebrauche in eine cylindrische Röhre aus Thon, füllt den Raum mit Sand und Kohlenpulver aus und bedeckt diese durch Thonstücke.

Man könnte den hier beschriebenen Apparat ein Differentialpyrometer nennen, und seine Construction ist allerdings sinnreich, jedoch unterliegt es dem Fehler, daſs der Einfluſs der Luft in der Platinröhre nicht vermieden ist, welcher keineswegs als eine verschwindende Gröſse betrachtet werden kann, da die Röhre der Angabe nach eine Linie oder noch etwas darüber weit seyn soll. Dieser Fehler würde noch bedeutend gröſser werden, wenn man die Länge des Platinrohrs vermehrte, um die Kugel nicht bloſs in kleinen, sondern auch in groſsen und weiten Oefen in die Mitte des Feuers zu bringen. Ein hiesiger junger kenntniſsreicher Physiker, Petersen, hat diesen Fehler dadurch vermieden, daſs die Kugel seiner Pyrometer mit einem dünnen und daher biegsamen, mehrere Fuſs langen Drahte versehn ist, dessen innere cylinderförmige Höhlung kaum die Weite hat, daſs man ein Pferdehaar hineinbringen könnte, wonach also die hierin enthaltene Luft gegen die in der ohnehin noch gröſsern Kugel eingeschlossene füglich als eine verschwindende Gröſse betrachtet werden kann. Auſserdem zieht er es vor, zur Absperrung gefärbtes Schwefelsäurehydrat statt des Quecksilbers zu wählen, welche wegen des geringern Drucks der gehobenen Säule den Vorzug verdient. Eine andere wesentliche Verbesserung besteht darin, daſs der statt der Kugel gewählte gläserne Cylinder mit seiner Glasröhre, worin die Schwefelsäure aufsteigt, sich in einem weitern Glascylinder neben einem Thermometer befindet, welches dazu bestimmt ist, die Temperatur der in jenen Theilen des Apparats eingeschlossenen Luft zu messen, die durch hineingegossenes Wasser unverändert so erhalten werden muſs,

als sie anfangs beim Stande der Schwefelsäure auf dem Anfangspuncte der Scale war. Welche Flüssigkeit man übrigens zum Absperren beider, nicht eben nothwendig einander gleichen, Mengen von Luft wählen mag, Quecksilber oder Schwefelsäure, so darf diese nicht bis an die Mündung des engen Rohrs reichen, weil sonst leicht etwas in dieses eindringen kann, was sich nicht füglich durch ein anderes Mittel als Ausglühen wieder austreiben läſst. Ist der Apparat auf die beschriebene Weise eingerichtet, was namentlich in Beziehung auf die Verfertigung der Platinkugel und des zugleich sowohl hinlänglich langen als auch mit einem gehörig engen Canale versehenen Rohrs für die jetzige Technik keineswegs zu schwierig ist, hat man demnächst die Scale nach einem genauen Thermometer mit der erforderlichen Schärfe graduirt, so ist man im Besitze eines Pyrometers, welches alle bisher angegebene bei weitem übertrifft, indem dasselbe die feinsten Temperaturunterschiede von mittlerer Wärme bis zur höchsten Glühhitze anzugeben vermag, und auſserdem der Hitze stets ausgesetzt bleiben kann, wenn man bei einigen technischen Processen, z. B., wie Neumann sehr treffend bemerkt, bei der Verfertigung von Glasarten zu optischen Zwecken, oder, wie sich leicht hinzusetzen läſst, beim Brennen feinerer Porzellanwaaren, einen unveränderlichen und zugleich nicht allzustarken Hitzegrad fortdauernd verlangt.

Die bereits ausgeführten Exemplare dieses Pyrometers haben im Wesentlichen folgende leicht verständliche Einrichtung. Die Kugel, deren Inhalt ungefähr einen Kubikzoll beträgt, nebst der langen und daher leicht biegsamen Röhre bedarf keiner Zeichnung. Die Gestalt des Luftbehälters ist willkürlich; auch wird nicht erfordert, daſs derselbe ohne alle Löthung sey, wie an dem vorhandnen Exemplare mit groſser Mühe ausgeführt wurde, indem die später zu beschreibende Art der Verfertigung beweist, daſs nach Pouillet's Erfahrungen selbst gelöthete Kugeln die Weiſsglühhitze ohne Nachtheil aushalten; auf jeden Fall aber muſs der innere Raum der Röhre höchst eng seyn. Beim wirklichen Gebrauche in starker Hitze scheint es räthlich, den kugelförmigen Körper durch das Hineinlegen in einen höchst unschmelzbaren Tiegel gegen äuſsere Beschädigung zu schützen. Zum Meſsapparate gehört eine verticale Glasscheibe AB, auf einem Fuſsbrete CD be- Fig. 176.

feſtigt, welches zugleich als Träger des in die Rinne $\alpha\beta$ eingeſenkten Glascylinders dient. Bei a zwiſchen der Glasröhre und dem ſehr engen Platinrohre befindet ſich das rechtwinklig gebogene Verbindungsſtück, welches an letzteres gelöthet und auf erſtere aufgekittet iſt. Die Röhre bcd muſs möglichſt genaues Caliber und eine Länge von etwas über 30 Zoll haben, um vom Anfangspuncte der Scale an 1440 Theilſtriche in einem Abſtande von 0,25 Linien aufnehmen zu können, welche die Wärmegrade, jeder etwa vier nach Cels., anzeigen, ſo daſs alſo einzelne Centeſimalgrade noch ziemlich genähert meſsbar ſind. Die auf die gläſerne Platte AB geätzten Grade fangen bei b an, endigen bei d und die Scale umfaſst im Ganzen 5760 Centeſimalgrade. Die Beſtimmung des Thermometers gh zur Beobachtung der bei jeder Meſſung herzuſtellenden Normaltemperatur iſt an ſich klar, und auf gleiche Weiſe ergiebt ſich als leicht begreifliche Sicherheitsmaſsregel, daſs man wohl thun wird, durch einen hinter den Meſsapparat geſtellten Schirm die Wärmeſtrahlen der Oefen abzuhalten. Eine Veränderung des Barometerſtands hat auf das allſeitig verſchloſſene Pyrometer, wenn es urſprünglich richtig conſtruirt iſt, keinen Einfluſs; auch bleiben die Meſſungen richtig, wenngleich die Schwefelſäure mit ihrem einen Schenkel bei b im Anfange des Verſuchs nicht auf dem Normalpuncte der Scale ſteht, denn es hat keinen Einfluſs auf das geſuchte Reſultat, wenn die Luft in der Kugel etwas über oder unter die Normaltemperatur erwärmt iſt; fürchtet man aber, daſs die atmoſphäriſche Luft durch die längere Einwirkung der Hitze eine Zerſetzung erleiden möge, ſo würde es ſicherer ſeyn, die Platinkugel mit Stickgas zu füllen; auch verſteht ſich von ſelbſt, daſs die zum Meſſen dienende Gasart vollkommen trocken ſey, was ſich jedoch durch Ausglühen der Kugel und des Drahts und Einbringen von Luft, die durch Chlorcalcium ausgetrocknet iſt, ſehr leicht bewerkſtelligen läſst.

Da das Pyrometer empiriſch graduirt wird, ſo verſchwindet hierdurch der Einfluſs, welchen die Ausdehnung des Metalls der Kugel auf das Reſultat der Meſſung ausübt, und es bleibt bloſs ein kleiner, die beobachteten Grade vermindernder Fehler, welcher aus der zunehmenden Ausdehnung des Platins bei höheren Hitzegraden entſpringt. Ein dieſem ent-

Digitized by Google

gegengesetzter, das Resultat vergröſsernder Fehler entsteht durch die Ausdehnung der in der Röhre enthaltenen Luft. Da letzterer leicht als bedeutend erscheinen könnte, so wird es räthlich seyn, das Maximum desselben zu bestimmen, welches dann statt finden würde, wenn die Luft in der ganzen Länge desselben auf gleiche Weise, als die in der Kugel, ausgedeht würde, was jedoch unmöglich ist. Wird die Oeffnung im Rohre wirklich so eng gemacht, daſs ein Pferdehaar nicht willig oder überhaupt nicht hineinzubringen ist, so beträgt der Diameter nach Messungen nahe genau 0,03 Lin., also der Halbmesser 0,015 Linien, und wenn dann die Länge desselben überflüssig zu 5 Fuſs angenommen wird, so beträgt der ganze Kubikinhalt nicht mehr als $0{,}015^2\,\pi\,.\,720 = 0{,}5434$ Kub. Linien, welches gegen den Kubikinhalt der Kugel zu einem Kubikzolle oder 1728 Kubiklinien noch kein Dreitausendstel beträgt. Wenn man jedoch überlegt, daſs die angenommene Erhitzung auſser dem Bereiche der Möglichkeit liegt, auſserdem aber die beiden genannten Fehler einander entgegengesetzt sind, so ergiebt sich deutlich, daſs bei genügend sorgfältiger Ausführung man selbst bei den höchsten Hitzegraden kaum um einen einzigen Grad der hunderttheiligen Scale fehlen könne. Hieraus ergiebt sich aber zugleich die Nothwendigkeit, die Röhre so eng zu machen, und man begreift bald die Ursache, weswegen es unmöglich ist, einige eingedrungene Feuchtigkeit anders als durch Ausglühen fortzuschaffen; zugleich aber wird vorausgesetzt, daſs der zum Messen dienende Körper in der Hitze seine Form nicht verändere, mithin die erforderliche Metallstärke habe, und namentlich im Zustande einiger Erweichung durch Hitze gegen äuſsern Druck hinlänglich geschützt sey.

Die bei diesem Apparate zum Grunde liegende Idee ist mit einiger Veränderung auf eine sehr sinnreiche Weise durch Pouillet zur Construction eines Luftpyrometers benutzt worden, vermittelst dessen man allerdings bei gehöriger Genauigkeit des Experimentirens sehr genügende Resultate erhalten kann. Auch letzteres ist nirgend vollständig beschrieben und man findet bloſs oberflächliche Angaben darüber[1], inzwischen habe ich dasselbe im *Conservatoire des Arts* cet. zu Paris gesehn und

1 Z. B. im Journ. de Pharmacie.

kann hiernach folgende Beschreibung mittheilen, welche selbst auch hinsichtlich der Dimensionen wenigstens sehr nahe richtig ist. Der Haupttheil besteht aus einem von dickem Platin
Fig. 177. verfertigten hohlen Körper A, welcher aus zwei Hälften in der Mitte zusammengelöthet und eben so vermittelst des massiven Stücks a mit der Röhre $\alpha\beta$ verbunden ist. Die Löthung geschieht im stärksten Feuer vermittelst eines sehr dünnen zwischen die über einander geschobenen Hälften des hohlen Körpers A und eines zwischen die eingepaſsten Theile dieses und des massiven Stücks a gelegten Goldblatts. Ist die Löthung einmal geschehn, so werden hierdurch die geringen Mengen des Golds mit beiden Flächen des Platins so innig verbunden, daſs nach Pouillet's Erfahrung diese Stellen nicht früher als die übrigen Theile des hohlen Körpers in Fluſs kommen [1]. Die Länge der groſsen Axe des hohlen Körpers beträgt nahe 1,75 Zoll, die der kleinen etwa 1 bis 1,25 Zoll, die Länge der Röhre aber ungefähr 2 Fuſs, ihre Dicke gegen 1,5 Linien, der innere Canal der letztern aber höchstens 0,15 Linien im Durchmesser, so daſs die darin eingeschlossene Luft das Resultat der Messung nicht merklich afficiren kann. Am andern Ende der Röhre befindet sich gleichfalls ein massives Stück b, vermittelst dessen dieselbe auf die graduirte Glasröhre cd so gesteckt wird, daſs die eingeschlossene trockne atmosphärische Luft nirgends entweichen kann. Die Röhre cd communicirt mit einer andern, gleichfalls graduirten Glasröhre ef, beide aber stehn mit einer dritten gh so in Verbindung, daſs durch den Hahn k Quecksilber aus der letztern in beide flieſsen kann, um das Niveau in ihnen zu erhöhn; bei einer andern Drehung des Hahns aber wird gh verschlossen, und bei einer dritten flieſst Quecksilber durch die Oeffnung γ aus dem Behälter aus, in welchem die ersten beiden Röhren vereint sind [2]. Die drei Röhren sind auf der

1 Ob dieses im strengsten Sinne wahr sey, möchte ich nicht unbedingt verbürgen; indeſs steht dieser Umstand der Anwendung des Luftpyrometers nicht im Wege, da man die dazu erforderlichen hohlen Körper auch ohne Löthung von beliebiger Gröſse erhalten kann.

2 Man übersieht bald, daſs der Hahn nur einmal durchbohrt ist, nämlich in seiner Axe vom äuſsersten Ende anfangend bis in die Mitte und dann seitwärts ausgehend.

Digitized by Google

Bodenplatte so aufgerichtet, daſs sie in den drei Spitzen eines gleichschenkligen Dreiecks stehn, und sind zugleich von einem gläsernen Cylinder umgeben, welcher zur Erhaltung einer gleichmäſsigen Temperatur mit Wasser von unveränderter Wärme gefüllt ist. Die Länge der Röhren beträgt ungefähr zwei Fuſs, und die Beobachtung des Quecksilbers in den zwei graduirten geschieht vermittelst eines Fernrohrs mit einem genau horizontalen Faden, um das Niveau der Quecksilbersäulen in beiden, die zur Vermeidung ungleicher Capillarität von gleichem Durchmesser seyn müssen, völlig scharf zu erhalten.

Es ergiebt sich hiernach leicht, auf welche Weise pyrometrische Messungen mit diesem Apparate angestellt werden. Sind alle drei Röhren bis zu einer gewissen Höhe, in der Regel bis zum Anfange der Scale, mit Quecksilber gefüllt, die eine g h höher als die beiden andern, ist der Hahn so gestellt, daſs kein Quecksilber weder aus der letztern, noch aus dem ganzen Apparate abflieſst, und hat man den umschlieſsenden Glascylinder mit Wasser von der Temperatur der Atmosphäre gefüllt, so wird das Quecksilber in den beiden graduirten Röhren gleich hoch stehn. Alsdann steckt man das Platinrohr mit der Platinkugel auf und beobachtet, ob der Stand des Quecksilbers in der Röhre c d keine Aenderung, etwa in Folge einiger Erwärmung durch die Hand oder durch eine sonstige Ursache, erlitten hat. Ist dieses nicht der Fall oder hat man das Gleichgewicht in beiden Röhren durch das Zulassen oder Ablassen von einigem Quecksilber wieder hergestellt, so wird die hohle Birne der zu messenden Hitze ausgesetzt, deren Stärke der Ausdehnung der Luft direct proportional ist. Die ausgedehnte Luft drückt demnach auf das Quecksilber in der Röhre c d, macht dasselbe sinken und dagegen in e f steigen, worauf man so lange Quecksilber durch den geöffneten Hahn ausflieſsen läſst, bis die Höhe desselben in beiden Röhren gleich ist und die Raumvermehrung in c d den höchsten erreichten Hitzegrad nach den vorausgegangenen Bestimmungen des Werths der Scalentheile angiebt. Wenn demnächst der birnförmige Körper aus dem Feuer genommen und zur anfänglichen Temperatur wieder herabgebracht ist, vorausgesetzt, daſs der Barometerstand während des Versuchs keine Veränderung erlitten habe, so zieht sich die in c d eingeschlossene Luft wieder in den abgekühlten Raum zurück,

Digitized by Google

das Quecksilber steigt in dieser Röhre, man läſst aus g h neues zuflieſsen, bis es in beiden graduirten Röhren gleich hoch steht, und ist dieser Stand wieder der anfängliche, so gewährt dieses eine Controle des ganzen Versuchs.

Die beiden zuletzt beschriebenen Pyrometer unterscheiden sich bloſs durch die Art, wie die Ausdehnung der Luft durch Wärme gemessen wird. Bei dem letztern geschieht dieses allerdings mit groſser Schärfe, aber zugleich mit einem bedeutenden Aufwande von Zeit und Mühe; auch steht das Hinderniſs im Wege, daſs bei längerer Dauer des Versuchs der Barometerstand sich leicht ändern kann, weswegen dasselbe auch zu längere Zeit anhaltenden Beobachtungen unbrauchbar ist. Beim erstern kommt es hauptsächlich auf die Genauigkeit an, womit der Künstler den Apparat ursprünglich hergestellt hat, und man erhält ein eben so bequemes als richtiges und vielseitig brauchbares Pyrometer, sobald die erforderlichen Bedingungen in einem hinlänglichen Grade erfüllt sind.

Der bereits erwähnte Petersen hat noch ein andres Pyrometer ersonnen und gleichfalls ausführen lassen, welches einen hohen Grad der Genauigkeit mit unerwarteter Einfachheit vereinigt, jedoch für länger dauernde Versuche sich nicht eignet. Dasselbe besteht aus einem hohlen, kugelförmigen oder
Fig. 178. sonstig sphäroidischen Körper A, welcher entweder durch Zusammenlöthen zweier Hälften auf die angezeigte Weise verfertigt, oder aus einem Stücke Platin getrieben seyn kann. Der kubische Inhalt des eingeschlossenen Raums ist willkürlich, jedoch reicht ein Kubikzoll, selbst als Maximum genommen, füglich für alle Zwecke hin, wenn man nicht höherer Genauigkeit wegen die Versuche nach einem gröſsern Maſsstabe anstellen will, in welchen Falle es allerdings vortheilhaft ist, das Volumen und die Metalldicke des Pyrometers zu vermehren. Zu gewöhnlichen, bei gehöriger Vorsicht gleichfalls hinlänglich genauen, Versuchen für Chemiker, Pharmaceuten und Techniker reichen solche füglich hin, deren Inhalt nicht mehr als einen halben und selbst nur einen viertel Kubikzoll beträgt. An dem hohlen Körper befindet sich ein kurzer Hals b, welcher bei c in einen etwas breiten Rand endigt, jenseit dessen die dünnere, etwa 2 bis 3 Lin. lange, Fortsetzung zu einer männlichen Schraube geschnitten ist, über

welche das Hütchen d mit einer weiblichen Schraube so geschraubt wird, daſs die Ränder des Hütchens und des Halses bei c zur Berührung kommen. Solche Schrauben schlieſsen nie luftdicht, sollte dieses aber bei einem gefertigten Exemplare dennoch der Fall seyn, so würde eine sehr einfache Probe hierüber Auskunft geben und könnte diesem sehr bald abgeholfen werden. Zur leichtern Uebersicht des Ganzen scheint es mir zweckmäſsig, zuvor im Allgemeinen zu bemerken, daſs dieses Pyrometer mit trockner Luft gefüllt der zu prüfenden Hitze ausgesetzt, dann schnell im Wasser abgekühlt werden muſs, um aus dem Gewichte des eingedrungnen Wassers die durch Wärme bewirkte Ausdehnung der Luft und hieraus die Höhe der Temperatur zu bestimmen. Das ganze Verfahren hierbei ist folgendes.

Zur richtigen Messung ist vor allen Dingen erforderlich, daſs die im Pyrometer eingeschlossene Luft trocken sey, und man muſs um so mehr darauf Bedacht nehmen, diese Bedingung mit Sicherheit zu erreichen, als so leicht ein Antheil des bei einem frühern Versuche eingedrungnen Wassers zurückbleiben könnte. Um diesen Zweck zu erreichen, wird das Hütchen d abgeschraubt, das Sphäroid A dagegen mit der männlichen Fig.
Schraube in den Apparat B B geschraubt, so daſs die Ränder 179.
bei c abermals zur genauen Berührung kommen. Der letztere besteht aus einem cylinderförmigen Stücke Messing, in dessen unteres dünneres Ende eine weibliche Schraube zur Aufnahme der männlichen des Sphäroids A geschnitten ist, der obere dickere Theil *a a* aber steckt in einer Hülle von Holz $\beta\beta$, um ihn daran zu halten, ohne die Finger durch die erzeugte Hitze zu verletzen; in der Mitte aber ist das Messingstück mit einem in der Axe liegenden engen Canale durchbohrt, dessen oberes Ende konisch erweitert und ausgeschmirgelt ist. In diese Oeffnung paſst die konische Verlängerung der messingnen Röhre m n o p, auf deren Boden über dem feinen, durch die Verlängerung gehenden Canale eine Lage trockner Baumwolle festgedrückt und bis ans Ende der Röhre mit Chlorcalcium überschüttet wird. Soll dann der Apparat zu einem Versuche gebraucht werden, so schraubt man das Hütchen von dem Sphäroide A ab, dagegen den Apparat B B, jedoch ohne die Röhre m n o p, auf, erhitzt das Sphäroid A über einer Weingeistlampe bis mehrere Grade über den Siedepunct des Was-

Digitized by Google

ſers, ſo daſs der meſſingne Theil, den man an der hölzernen Umgebung hält, mindeſtens bis zur Siedehitze gelangt und alſo alle Feuchtigkeit entweichen muſs, entfernt die Lampe und ſteckt den unterdeſs in Bereitſchaft geſetzten hohlen Cylinder m n o p auf, wodurch das allmälig abgekühlte Sphäroid mit völlig trockner Luft angefüllt wird; ja man kann dieſe ſehr leichte Operation mehrmals wiederholen, falls man fürchtet, daſs das erhitzte Sphäroid das erſtemal noch mit Dampf gefüllt geweſen ſey, der ſich bei der Abkühlung wieder niedergeſchlagen habe. Iſt man von der völligen Austrocknung verſichert, ſo ſchraubt man das Späroid A los, ſchraubt das Hütchen darauf, und der Apparat iſt dann zum Verſuche fertig, welcher zwar einfach ſo angeſtellt werden kann, daſs man das Pyrometer der zu meſſenden Hitze ausſetzt, beſſer aber iſt folgendes Verfahren, insbeſondere, wenn es ſich um
Fig. 180. ſehr hohe Temperaturen handelt. Ein Graphittiegel MN von der Gröſse, die ſich zur Aufnahme des Sphäroids eignet und in welchem daſſelbe freien Spielraum hat, iſt in einem maſſiven eiſernen, zur Verhütung des Verbrennens mit Thon beſchlagenen Ringe a b befeſtigt, welcher letztere an der maſſiven eiſernen Stange b c feſtſitzt, deren Länge hinreicht, um den Tiegel mitten in die ſtärkſte Hitze zu bringen. Ueber der Oeffnung des Tiegels liegt der nur wenig über den Rand hervorragende Deckel P ſo loſe, daſs er leicht und ſchnell herabfällt. Will man Tiegel und Deckel noch obendrein für die höchſten Hitzegrade mit einer ſehr feuerfeſten Thonmaſſe beſchlagen, ſo iſt dieſes dann noch von gröſserem Nutzen, wenn man das Zerſpringen oder Zuſammenſintern des Tiegels fürchtet. Sobald der Apparat der Hitze ſo lange ausgeſetzt war, als erfordert wurde, ihm ſelbſt die zu meſſende Temperatur mitzutheilen und die im Sphäroide eingeſchloſſene Luft gehörig auszudehnen, wobei die mehr elaſtiſche durch die nicht luftdicht ſchlieſsende Schraube entweicht, ſo nimmt man ihn raſch aus dem Feuer, wirft ſo ſchnell als möglich, und ohne zur Abkühlung Zeit zu laſſen, den Deckel herab, das Sphäroid A aber in ein bereit ſtehendes Gefäſs mit deſtillirtem oder nur mit Regenwaſſer. Bei der Abkühlung dringt das Waſſer durch die feinen Canäle der Schraube in den innern Raum, ohne daſs die noch übrige Luft entweichen kann, weil ſich die Spitze ſogleich nach unten ſenkt; man nimmt dann, wenn das Waſſer

im Glase sammt dem Sphäroide auf die Normaltemperatur des Apparats gekommen ist, das Sphäroid mit einem Zängelchen heraus, trocknet es schnell mit feinem Flieſspapier ab und bestimmt auf einer feinen Waage das Gewicht des eingedrungnen Wassers, wonach die Ausdehnung der eingeschlossenen Luft und somit der Grad der erreichten Hitze bestimmt werden kann. Das Sphäroid wird nämlich nach seiner Anfertigung vom Künstler gewogen, dann mit Wasser von 20° C., als der bestimmten Normaltemperatur, auf welche es beim Gebrauche wieder gebracht werden muſs, gefüllt, dann abermals gewogen, und nach dem Gewichte des Wassers, welches dasselbe ganz ausfüllt, und dem des nach dem Abkühlen eingedrungenen kann leicht die Ausdehnung der Luft, folglich auch der erreichte Hitzegrad, berechnet werden. Eine hierzu erforderliche Tabelle, welche neben den Gewichten zugleich die Temperaturen enthält, kann sich zwar ein jeder selbst für sein Pyrometer verfertigen, allein es versteht sich von selbst, daſs ein geübter Künstler auch dieses mühsame Geschäft übernehme und dem von ihm gemachten Apparate eine solche Tabelle beifüge.

Das hier beschriebene Pyrometer empfiehlt sich ausnehmend durch seine Einfachheit, seine Sicherheit und den Umfang der damit meſsbaren Temperaturen. Weil die Ausdehnung der Luft durch Wärme bei jedem Grade ihrer Dichtigkeit gleich ist, so hat man überall nicht nöthig, den Barometerstand zu berücksichtigen, indem sich nicht annehmen läſst, daſs derselbe während der kurzen Dauer des Versuchs vom Zeitpuncte der stärksten Erhitzung bis zur beginnenden Wägung eine bedeutende Veränderung erleiden sollte; denn selbst wenn dieses während der Wägung der Fall wäre und durch verminderte Dichtigkeit der in der Kugel zurückgebliebnen Luft etwas Wasser herausgetrieben würde, so gäbe das gefundene Gewicht auch diesen Antheil dennoch mit an. Die veränderte Dichtigkeit der Luft, welche zu den verschiednen Zeiten der Versuche darin enthalten ist, darf aber als unbedeutend vernachlässigt werden, ebenso wie der Feuchtigkeitszustand, insbesondere wenn man die ursprüngliche, zur normalen Regulirung dienende Wägung mit Luft vornimmt, welche bei 20° C. mit Feuchtigkeit gesättigt ist, indem man die Kugel zuerst mit solcher Luft, nachher mit Wasser von

20° C. gefüllt genau wägt und durch Abziehung der erstern Gröſse von der letztern das Gewicht des Wassers findet, welches bei dieser Temperatur den innern Raum ausfüllt. Nur ein Umstand ist bei der Verfertigung und beim nachherigen Gebrauche höchst nothwendig zu berücksichtigen. Die Schraube darf nämlich zwar nicht luft- und selbst nicht wasserdicht schlieſsen, allein der Raum zwischen den übereinander liegenden Rändern und zwischen den Schraubengewinden muſs sehr eng seyn, damit kein eigentlicher Strom von Wasser eindringt, durch die Hitze sofort in Dampf verwandelt wird und dann die noch eingeschlossene Luft austreibt. Sind dagegen die Canäle gehörig eng, so erfolgt die Abkühlung von Auſsen durch die Menge des Wassers, worein das Pyrometer geworfen wird, viel zu schnell, als daſs der angegebene Umstand eine Unrichtigkeit herbeiführen könnte, um so mehr, da die Spitze nach unten fällt, mithin das nachdringende Wasser früher ausgetrieben werden muſs, als die eingeschlossene Luft nachfolgen kann[1].

Um eine ungefähre Uebersicht der Genauigkeit zu geben, welche die Messungen mit diesem Pyrometer erreichen können, dient folgende Betrachtung. Ein Kubikzoll Wasser im Puncte seiner gröſsten Dichtigkeit wiegt 19,84 Gramme, mithin bei 20° C. 19,805 Milligramme. Die Luft dehnt sich bekanntlich um 0,00375 ihres Volumens für jeden Centesimalgrad aus, und wenn daher ihr Volumen vor der Ausdehnung durch Wärme $= V$ ist, so wird dieses nach der Erhitzung bis zu t Graden C. noch $= V \frac{1}{1+t(0,00375)}$ seyn, und da man statt des Inhalts der Luft auch den des Wassers setzen kann, so bezeichnet die letztere Gröſse, von 1 abgezogen, das Volumen oder das Gewicht des eingedrungnen Wassers, wonach also für einzelne Grade die Tabelle zum Auffinden der gemeſsnen Temperatur aus dem Gewichte der Kugel nach dem Versuche berechnet werden muſs. Für $t = 1$, also für 1° C.,

1 Bei einer fehlerhaften Construction ist es sogar möglich, daſs die groſse Masse des Dampfs, welcher aus zu vielem eingedrungenen Wasser gebildet wird, das Sphäroid zersprengt. Der Künstler bezeichnet daher das Hütchen mit einem Striche, damit es jederzeit nicht zu viel, aber auch nicht zu wenig festgeschraubt werde.

Digitized by Google

und wenn $V = 19805$ Milligr. gesetzt wird, erhält man

$$19805\left(1-\frac{1}{1,00375}\right)=73,995 \text{ oder nahe} = 74 \text{ Milligramme,}$$

wird aber $t = 5000$, so erhält man $19805\left(1-\frac{1}{1975}\right)=18802$ Milligramme, welche das Pyrometer nach dem Messen an Waſser enthalten müſste. Das Pyrometer wird mit zunehmender Hitze weniger empfindlich, aber die Hitze müſste unendlich groſs werden, wenn die Messung ganz aufhören sollte.

Der Beschreibung der bis jetzt in Vorschlag gebrachten Pyrometer muſs noch diejenige Methode hinzugefügt werden, welche James Prinsep [1] für pyrometrische Messungen empfohlen hat, nämlich sich der Schmelzpuncte von Metallgemischen zu bedienen. Die Idee ist nicht absolut neu, vielmehr brachte man sie auf eine ähnliche Weise bereits in Anwendung, indem man Cylinder von Metallmischungen, die nach dem Verhältnisse ihrer Bestandtheile leichter oder schwerer schmelzbar sind, in die Dampfkessel löthete, um diese gegen das Zerspringen zu schützen; auch haben sich die Chemiker und Physiker nicht selten verschiedner Mischungen aus Blei und Zinn bedient, damit deren Schmelzen ihnen die Sicherheit gewährte, daſs ein gewisser Grad der Hitze nicht überschritten wurde. Prinsep gründet indeſs auf die Schmelzbarkeit solcher Verbindungen eine eigentliche pyrometrische Scale, deren Richtigkeit jedoch weder theoretisch noch durch die Erfahrung genügend begründet ist. Er setzt nämlich den Schmelzpunct des Silbers auf das Null dieser Scale und die des Golds auf 10, schlieſst dann weiter, daſs die zwischenliegenden Grade den Quantitäten des zugesetzten Golds direct proportional seyn müssen; auf gleiche Weise fällt der Schmelzpunct des Platins 100 Grade über den des Golds, und für die Mischung dieser beiden Metalle wird das nämliche Gesetz angenommen. Vom reinen Silber anfangend wird also ein Zusatz von 0,1 Gold und so fort durch 0,2; 0,3..... genommen, bis zum reinen Golde, und von diesem anfangend 0,01; 0,02; 0,03.... Platin, wonach also die Scale auf gleiche Weise

---

1 Phil. Mag. New Ser. T. III. p. 129. Edinb. Journ. of Science. N. XVII. p. 168.

Digitized by Google

durch einzelne Grade bis zum Schmelzpuncte des reinen Platins fortschreitet.

Man überſieht bald, daſs hierbei zu viele unbegründete Voraussetzungen angenommen werden, als daſs man auf dieſem Wege zuverläſsige pyrometrische Meſsungen erwarten dürfte, und das vorgeschlagene Mittel kann daher nur für relative Beſtimmungen angewandt werden. Uebrigens zeigt Prinsep mit Recht, daſs die Meſsungen auf die angegebene Weise sich sehr leicht anstellen laſsen, auch die wenigsten Kosten und die geringste Sorgfalt erfordern. Man bedarf nämlich bloſs die angegebnen 10 Alliagen von Silber und Gold und die 100 folgenden von Gold und Platin, jedes als ein kleines Kügelchen von der Gröſse eines Stecknadelknopfs, welche in einem Käſtchen liegend man sogar mit sich herumtragen kann. Diese plattet man etwas auf einem Ambos mit einem kleinen Hammer, legt sie in einen kleinen Tiegel und bringt sie auf diese Weise in die zu prüfende Hitze, deren Stärke demjenigen Scalentheile proportional ist, zu welchem das in ihr eben schmelzende Metallgemisch gehört, und das Kügelchen, worin dieses zusammenschmelzt, kann zu einem folgenden Versuche wieder benutzt werden. Wiewohl übrigens eine eigentliche Meſsung auf die hier angegebne Weise unmöglich ist, weil die hierzu erforderlichen Grundbeſtimmungen fehlen, so könnte dennoch die Anwendung dieses Vorschlags eben wegen der Leichtigkeit und Bequemlichkeit sehr nützlich werden, wenn man zuvor vermittelst eines der angegebnen Luftpyrometer die Werthe der Scalentheile, bei denen die Schmelzung erfolgt, aufgefunden hätte; ja man könnte sogar, wenn dieses einmal geschehn wäre, selbst bis zum Schmelzpuncte des Platins gelangen, was mit jenen bessern Pyrometern unmöglich ist.

M.

Pyrometrie.

Pyrometria; Pyrométrie; *Pyrometry.*

Man versteht hierunter eigentlich, und in den neuern Zeiten bestimmt, die Ausmeſsung des Feuers oder der höhern bis zu den höchsten Graden der Hitze. Weil aber ehemals das Feuer allgemein als die Ursache der Wärme-Erscheinungen

betrachtet wurde, so war die Pyrometrie mit der Thermometrie gleichbedeutend und ihr Alter reicht also bis zur Erfindung der Thermometer. In Beziehung auf das Wiſsenschaftliche steht auch hier NEWTON[1] an der Spitze. Dieser verfertigte nämlich Thermometer aus Leinöl, deren Scale 0 bei der Temperatur des schmelzenden Eises und 34° in siedendem Waſser zeigte, auch maſs er hiermit die höhern Hitzegrade bis zum Schmelzpuncte des Zinns, den er bei 72° setzte. Höhere Temperaturen bestimmte er sehr sinnreich aus der Zeit, deren das glühende Eisen bis zum Erkalten bedurfte, wobei er sich seiner bekannten Formel bediente[2]. Zu diesem Ende zog er eine Masse glühenden Eisens mit einer Zange, die mit ihr gleich stark erhitzt war, aus dem Feuer, hielt sie in ruhiger Luft, legte auf dieselbe andere leichter schmelzbare Metalle, maſs die Zeit, bis sie erstarrten, und von da an, bis die Eisenmasse zu einer meſsbaren Temperatur, der Wärme des menschlichen Körpers, erkaltete, und bestimmte aus diesen Gröſsen die Schmelzpuncte jener Metalle. Hierbei fiel indeſs die Pyrometrie mit der Thermometrie zusammen, und diese Ansicht blieb auch noch später die herrschende, wie denn namentlich LAMBERT's[3] Pyrometrie nach dem jetzigen Sprachgebrauche eigentlicher den Namen Thermometrie verdiente.

Mit MUSSCHENBROEK[4], BOUGUER[5], NOLLET[6] beginnt eine neue Periode, denn diese bezogen die Pyrometrie vielmehr auf die Auffindung der Ausdehnung der verschiednen Metalle durch untergesetzte Weingeistlampen, wobei sie sich unter andern Mitteln namentlich der Räderwerke bedienten; aber MARTINE[7], welcher aus solchen und NEWTON's Versuchen die höhern Temperaturen bestimmen wollte, zeigte, daſs das Räderwerk für so feine Maschinen wegen zu starken Schlotterns sich nicht eigne, und DESAGULIERS[8] verwarf daher jenen Mechanismus,

1 Opuscula. XXI.

2 S. Art. *Wärme*, *Leitung derselben*.

3 J. H. Lambert's Pyrometrie oder vom Maſse des Feuers und der Wärme. Berl. 1779. 4.

4 Tentamina Acad. Cim. add. II.

5 Mém. de l'Acad. 1745. p. 249.

6 Leçons de Physique.

7 Medical and philosoph. Essays. Lond. 1740. 8. Ess. III.

8 Cours de Physique. Leçon V. not. 2.

Digitized by Google

indem er statt dessen ein grob gefeiltes Blech durch hinlänglich starken Druck einen Cylinder um seine Axe drehn machte, an dessen einem Ende ein Zeiger befestigt war, welcher die Pyrometergrade auf einem Zifferblatte anzeigte. Alle übrige zahlreiche Pyrometer waren gleichfalls hauptsächlich dazu bestimmt, die Ausdehnung der verschiednen Metalle zu messen, und verdienen daher hier nicht näher erörtert zu werden; jedoch benutzte unter andern Mortimer[1] die Ausdehnung einer Metallstange zum Messen hoher Wärmegrade, wobei er aber nicht weiter als bis zum Schmelzpuncte des Wismuths gelangte, den er bei 810° F. setzte.

Die eigentliche Pyrometrie, in der neuesten Bedeutung des Wortes oder die Ausmessung der höhern und höchsten Wärmegrade, zugleich auch insbesondere, wie der Ausdruck selbst anzeigt, der Wirkungen des Feuers, beginnt im letzten Decennium des vorigen Jahrhunderts mit der Erfindung des *Thoncylinder-Pyrometers* durch Wedgwood, dessen sinnreich construirter und bis zu den höchsten Graden der Hitze noch ausreichender Apparat mit groſsem Beifalle aufgenommen und vielfach zu Messungen angewandt wurde. Allein es ergaben sich bald sehr auffallende Abweichungen unter den erhaltenen Resultaten, und insbesondere zeigte Guyton de Morveau[2] durch überwiegende Gründe die Unrichtigkeit der durch Wedgwood aufgestellten Reduction der Grade seines Pyrometers auf die gewöhnlichen Thermometerscalen. Guyton de Morveau blieb jedoch bei dieser Prüfung nicht stehn, sondern er gehört ohne Widerrede zu denjenigen, durch welche die Pyrometrie am meisten gefördert worden ist. Er machte nämlich zugleich sein *Platinpyrometer* auf einer Thonplatte bekannt, und gebrauchte dieses theils zur Bestimmung höherer Hitzegrade, theils zur Prüfung des Wedgwood'schen Apparats; allein die Physiker fanden es dennoch bedenklich, auch dieses Pyrometer in Anwendung zu bringen, weswegen man dasselbe kaum irgenwo vorfindet. Ebenderselbe brachte auſserdem noch mehrere, allerdings sinnreich ausgedachte, in der Anwendung aber nicht sowohl beschwerliche, als vielmehr delicate und

1 Phil. Trans. XLIV. 672.

2 Mém. de l'Institut. Classe des Sciences math. et phys. 1810. 2me Sem. u. 1811. 2me part. p. 89.

vielfache Correctionen erfordernde pyrometrische Messungen in Vorschlag. Dahin gehört die Vergleichung der Ausdehnung anderer Metalle mit der des Platins, um durch jene, die zwei- bis dreifach so groſs als die des Platins ist, die Ausdehnung des letztern genauer auszumitteln und dadurch die Messungen mit dem Platinpyrometer sichrer und schärfer zu machen. Auſserdem schlug er vor, die Wärme der Körper, nachdem sie einer groſsen Hitze ausgesetzt gewesen waren, vermittelst des Calorimeters zu messen, welches allerdings zu genügenden Resultaten führen könnte, wenn nur namentlich das Eis-Calorimeter von Lavoisier zu sehr scharfen Messungen geeignet und die specifische Wärme der angewandten Körper mit hinlänglicher Sicherheit bekannt wäre. Gleichen Unsicherheiten war auch das Verfahren ausgesetzt, die Wärme der erhitzten Körper durch Mittheilung derselben an Wasser (Wassercalorimeter) zu messen. Endlich wandte Guyton de Morveau noch das Mittel an, die niedrigern Grade des Wedgwood'schen Pyrometers mit den bekannten Temperaturen siedender Flüssigkeiten, namentlich des Quecksilbers, und mit den Schmelzpuncten nicht strengflüssiger Metalle zu vergleichen.

In den neuesten Zeiten hat hauptsächlich J. F. Daniell[1] eine sehr groſse Menge pyrometrischer Versuche angestellt und dabei, ebenso wie seine Vorgänger Wedgwood und Guyton de Morveau, durchaus sachgemäſs beabsichtigt, diejenigen hohen Temperaturen mit Genauigkeit aufzufinden, bei denen die verschiedenen Metalle schmelzen und die ungleichen Grade des Glühens zum Vorschein kommen[2]. Hierzu bediente er sich der von ihm erfundenen Pyrometer; allein es ist in dem diesen Apparaten gewidmeten Artikel bereits nachgewiesen worden, daſs auch diese nicht frei von unvermeidlichen Fehlern und daher die erhaltnen Resultate höchst unsicher sind. Man darf also mit Recht sagen, daſs aller zahlreichen Bemühungen ungeachtet die Pyrometrie noch in ihrer Kindheit sey, und es bleibt noch immer fraglich, ob die Anwendung der viel versprechenden Luftpyrometer einen bedeutenden Zweig der physikalischen Wissenschaften merklich weiter zu fördern geeignet sey.

M.

---

1 Phil. Trans. 1829 u. 1831.

2 Die erhaltenen Resultate werden im Art. *Wärme*, *Schmelzen*, mitgetheilt und näher geprüſt werden.

Pyrophor.

Luftzünder; *Pyrophorus*; Pyrophore; *Pyrophorus.*

Eine fein vertheilte, Kohle haltende, sich bei gewöhnlicher Temperatur an der Luft entzündende Materie. Der bekannteste ist der durch Homberg entdeckte Alaunpyrophor, den man durch gelindes Glühen eines Gemenges von Kali-Alaun und einer kohlenstoffhaltigen Materie, wie Kohlenpulver, Mehl, Zucker u. s. w., erhält. Aber auch durch Glühen von Kohle mit schwefelsaurem Kali oder Natron oder mit kohlensaurem Kali, von Brechweinstein und andern Salzen, die eine organische Säure neben Kali oder Natron enthalten, für sich, erhält man pyrophorische Massen. Nachdem man diese Substanzen nach dem Glühen in verschlossenen Gefäſsen völlig hat erkalten lassen, entzünden sie sich, wenn man sie mit Luft, besonders feuchter, in Berührung bringt, und verbrennen unter lebhaftem Erglühen und da, wo schwefelsaure Salze angewandt wurden, unter Entwicklung schwefeliger Säure. Folgende Umstände scheinen die leichte Entzündung dieser Pyrophore zu veranlassen: 1. fein vertheilter Zustand der Kohle; 2. Gegenwart von Kalium oder Natrium oder von deren Verbindungen mit Schwefel, die wegen ihres ebenfalls fein vertheilten Zustands den Sauerstoff und das Wasser der Luft begierig unter Wärmeentwicklung anziehn und durch die damit erhöhte Temperatur die Entzündung der Kohle befördern.

G.

Quadrant.

Astronomischer; *Quadrans astronomicus*; Quart de cercle astronomique; *Astronomical Quadrant.*

Der vierte Theil eines Kreises, dessen Rand in Grade und Minuten getheilt ist, um dieses Instrument zu Winkelmessungen am Himmel zu gebrauchen, heiſst astronomischer Quadrant. Es wird am meisten zu Abmessung der Höhe der Gestirne oder ihres Abstands vom Scheitel angewandt und

Digitized by Google

in diesem Falle ist die Ebene des Kreises vertical und meistens zugleich der eine den Quadranten begrenzende Radius vertical, der andere horizontal. Diese Quadranten sind entweder *feststehende* oder *bewegliche*. Die erstern sind unter dem Namen *Mauerquadranten* (*quadrans muralis*, *quadrans Tychonicus; le mural; the mural quadrant*) bekannt, aber durch die Einführung der ganzen Kreise so überflüssig geworden, daſs sie nur noch wegen ihrer ehemals häufigen und nützlichen Anwendung eine kurze Beschreibung verdienen.

Man gab den Mauerquadranten einen Halbmesser von 6 bis 8 Fuſs, um selbst auf dem Rande schon kleine Bogentheile abzulesen und mit Hülfe des Nonius die noch kleinern Theile zu bestimmen. Der Körper des Quadranten selbst war an einer in der Mittagsfläche liegenden Wand befestigt und das an dem Quadranten bewegliche Fernrohr bewegte sich in der Mittagsfläche. Bei genauer Stellung dient so der Mauerquadrant, um die Zeit zu bestimmen, indem der durch den Mittelfaden des Fernrohrs gehende Stern sich im Meridian befindet, und die Zeit seines Durchgangs also angiebt, welcher Augenblick nach Sternzeit gerade dann eingetreten ist; vorzüglich aber soll er dienen, um die Höhen oder Zenithdistanzen der Sterne oder der Sonne und eben dadurch ihre Deklinationen anzugeben, wenn die Polhöhe des Orts bekannt ist, oder die Polhöhe aus Beobachtungen solcher Sterne, deren Deklination bekannt ist, zu bestimmen.

Zu diesen Zwecken war der Mauerquadrant vollkommen brauchbar, so lange die Beobachtungen noch nicht den Grad der Genauigkeit erreicht hatten, wie in der neuesten Zeit; aber daſs der Mauerquadrant dieser vollkommenen Genauigkeit nicht Genüge thun kann, ist offenbar, da schon die Veränderungen durch Wärme und Kälte, durch eignes Gewicht u. s. w. bei einem Theile des Kreises mehr Unregelmäſsigkeit hervorbringen müssen, als bei einem in allen seinen Theilen symmetrischem ganzen Kreise. Dazu kommt noch, daſs die ganzen Kreise viel mehr Hülfsmittel darbieten, um die Richtigkeit der Aufstellung zu sichern und die darin sowohl als im Instrumente selbst etwa vorkommenden Fehler kennen zu lernen[1]. Zur richtigen Aufstellung des Instruments diente das

1 Beschreibungen findet man in Lalande's astronomie. Tome II.

den Nullpunct der Zenithdistanzen bezeichnende, vom Mittelpuncte herabhängende Bleiloth, und man fand es nöthig, den Quadranten zur Prüfung zuweilen an einer zweiten Wand, um nach Norden hin zu beobachten, aufzustellen.

Tycho hat den Mauerquadranten zuerst eingeführt und Lalande rühmt ihn noch als das bequemste und zur Anstellung vieler und guter Beobachtungen in kurzer Zeit am meisten geeignete Instrument, wogegen Pearson es nicht mehr der Mühe werth hält, auch nur eine Beschreibung desselben zu geben, da der Mauerquadrant nur dann allenfalls als unabhängiges Instrument gebraucht werden könne, wenn er eine Drehung um eine verticale Axe, um so in die entgegengesetzte Stellung gebracht zu werden, zulasse und dann einen etwas über das Zenith hinausgehenden Bogen habe.

In der frühesten Zeit bediente man sich am Quadranten bloſser Absehen, an welchen mit bloſsem Auge beobachtet wurde. Erst Picard und Auzout haben 1667 den Gebrauch des Fernrohrs eingeführt, von welchem Gascoigne und Morin schon früher, aber ohne daſs von andern Beobachtern darauf Rücksicht genommen worden wäre, Gebrauch gemacht haben sollen[1]. Hevel zog damals noch die Beobachtung mit bloſsem Auge vor, weil er glaubte, daſs die Gesichtslinie im Fernrohre nicht so fest bestimmt sey, und allerdings mochte es damals noch keine so sichern Mittel geben, die optische Axe des Fernröhrs mit den entsprechenden Theilen des Rands so in Uebereinstimmung zu bringen, wie es erforderlich ist. So viel wenigstens ist gewiſs, daſs Halley, der, um Hevel's Beobachtungsweise kennen zu lernen, 1679 nach Danzig reiste, bekennen muſste, daſs Hevel durch seine Instrumente ohne Fernröhre eben soviel leistete, als man mit dem damaligen Gebrauche der Fernröhre an den Meſs-Instrumenten zu leisten im Stande war. Indeſs hatte Huyghens schon früher den Gebrauch der Fernröhre durch die Anbringung der Fäden im Brennpuncte des Oculars vollkommener gemacht, indem durch dieses Hülfsmittel die Axe des Fern-

---

p. 588. der dritten Ausgabe. Ferner in Smith's vollst. Lehrbegr. der Optik. 3. Buch. 7. Cap.

1 Montucla histor. T. II. p. 570. Lalande astron. T. II. p. 580.

rohrs genau bezeichnet und die genaue Richtung der Gesichtslinie bestimmt wurde.

Unter den Verfertigern von Mauerquadranten haben Bird, Graham und nachher Ramsden sich vorzüglich ausgezeichnet. Die Eintheilung der von Bird verfertigten Instrumente ward für bis auf 4 Secunden zuverlässig angesehn und bei dem von Ramsden blieb nur eine Unsicherheit von 2,5 Secunden [1]. Ueber die spätere noch gröſsere Vollkommenheit der Theilung hat Troughton gehaltreiche Belehrung gegeben [2].

Der *bewegliche Quadrant* wird ebenfalls als Höhenquadrant gebraucht, ist aber mit einem horizontalen Kreise versehn, um zugleich das Azimuth zu bestimmen, in welchem die Höhenbeobachtung angestellt ist. Man kann zum Zwecke der Höhenbeobachtung den Quadranten auf zweierlei Weise aufstellen, indem entweder der ganze Quadrant seine Stellung in der Vertical-Ebene ändert und das Fernrohr an ihm befestigt bleibt, oder indem der Quadrant fortwährend so stehn bleibt, daſs sein einer Endpunct in der Verticallinie durch das Centrum liegt und das Fernrohr am Quadranten fortgerückt wird. Ein Instrument der ersten Art beschreibt Lalande. Dabei ist im Schwerpuncte des ganzen Quadranten eine horizontale Axe angebracht, um die sich der Quadrant dreht; hat man ihn also, indem die Säule, an welcher diese horizontale Axe befestigt ist, gedreht wird, in die richtige Vertical-Ebene gestellt, deren Azimuth auf dem unten angebrachten Horizontal-Kreise abgelesen wird, so bewegt man den ganzen Quadranten mit dem Fernrohre, das in der Richtung gegen den Nullpunct des Quadranten befestigt ist, bis das Fernrohr den zu beobachtenden Gegenstand trifft. Ein vom Mittelpuncte des Quadranten herabhängendes Loth zeigt dann, indem man mit dem Mikroskope den Theilstrich, vor welchem der Faden einspielt, beobachtet, den Abstand der Axe des Fernrohrs vom Zenith an.

Vorzüglicher als diese Einrichtung ist ohne Zweifel die, wo der Quadrant feststehend bleibt und das Fernrohr seiner

---

1 Bird's Method of dividing astronomical Instruments. London 1767. übers. in Kästner's astron. Abh. — The Method of constructing Mural-quadrants. London 1768.

2 Phil. Tr. 1809. p. 105.

Ebene parallel fortbewegt wird, um vermittelst des der Axe des Fernrohrs correspondirenden Index die Stellung desselben auf dem Rande abzulesen. Pearson beschreibt als sehr vorzüglich einen von Dollond ausgeführten beweglichen Quadranten, dessen Einrichtung folgende ist[1].

Der Hauptkörper des Quadranten besteht aus dem 90° umfassenden Rande und zwei damit verbundenen, zwei auf einander senkrechte Radien darstellenden Stücken. Der Festigkeit wegen und um doch dabei eine zu groſse Belastung zu vermeiden sind zwei solche Quadranten, als parallele Ebenen bildend, durch hinreichend viele kleine Verbindungssäulen fest vereinigt, so daſs beide zusammen den Körper des Quadranten bilden. Durch den Schwerpunct dieses Körpers, oder vielmehr durch den Schwerpunct des auch im Uebrigen vollendeten beweglichen Theils des ganzen Instruments, geht zwischen den beiden fest vereinigten Quadranten die cylindrische Röhre herab, welche an dem Quadranten befestigt die Drehungs-Axe einschlieſst. Sie bildet eine verticale Säule, die auf einem soliden, durch Stellschrauben horizontal zu stellenden Fuſse ruht, und wird von einer mit dem Fuſse fest verbundenen Röhre so aufgenommen, daſs sie auch bei der Drehung die verticale Stellung ungeändert behält. Der Körper des Quadranten ist mit diesem die Drehungs-Axe enthaltenden Theile so verbunden, daſs seine Ebene vertical, mit jener Axe parallel, bleibt, und es sind Vorrichtungen angebracht, um diese parallele Lage herzustellen, wenn sie nicht vollkommen statt fände. Auf jenem, die Drehungs-Axe tragenden, Theile ist ein horizontaler Kreis so angebracht, daſs durch ihn die Azimuthalstellung der Ebene des Quadranten angegeben wird, und dieser bis auf 10 Min. getheilte Kreis giebt mit Hülfe des Nonius und des Mikrometers 10 Secunden an. Der Quadrant selbst ist bis zu 5 Min. getheilt, aber das Mikrometer giebt einzelne Secunden.

Der Quadrant wird so aufgestellt, daſs das eine den Radius darstellende Stück horizontal ist, also der andere Radius vertical. An jenem ist ein Niveau, welches eine bis auf 1 Sec. genaue Stellung gewährt, zugleich dient ein mit dem Anfangsradius der Theilung paralleles Fernrohr als Versicherungsfern-

1 Pearson Introduction to practical Astronomy. p. 555.

Digitized by Google

rohr für die richtige horizontale Stellung. Als ein zweites Sicherungsmittel der genauen Stellung ist in der verticalen Drehungs-Axe selbst, nämlich so, daſs er in der oben erwähnten Röhre in der wahren Drehungs-Axe frei herabhängt, ein Faden mit einem Gewichte angebracht, und vier Mikroskope dienen dazu, wahrzunehmen, ob der Faden die richtige Lage hat. Das Versicherungsfernrohr dient, um die horizontale Lage des Nullpuncts zu bestimmen. Glaubt man nämlich das Instrument gut nivellirt aufgestellt zu haben, so sieht man durch das Versicherungsfernrohr und richtet es auf ein genau kenntliches, mit dem horizontalen Faden zusammenstimmendes Merkmal. Das am Quadranten bewegliche, zu den Höhenbeobachtungen bestimmte Fernrohr wird nun auf den Nullpunct gestellt und muſs dann, wenn alles richtig ist, genau eben jenen Punct in der Mitte des Felds zeigen. Ist dieses der Fall, oder hat man durch leise Aenderungen der Unterlagen des Versicherungsfernrohrs dieses bewirkt, so ist die Axe des letztern mit der Nulllinie parallel. Aber um zu wissen, ob dieses die wahre Horizontallinie sey, wird der ganze Quadrant um einen halben Umlauf um die verticale Axe gedreht, das Versicherungsfernrohr in seinen Lagern umgelegt und abermals auf jenen Punct visirt, der nun wieder vom Faden des Fernrohrs gedeckt erscheinen muſs.

Verbindet man mit dieser Beobachtung, welche die Nulllinie als horizontal kennen lehrt, die Beobachtung eines dem Zenith sehr nahen Sterns, so erhält man die Bestimmung des wahren Bogens von 90° und kann sich überzeugen, ob der neunzigste Grad des Instruments damit übereinstimmt.

Daſs das Beobachtungsfernrohr sich genau mit der Ebene des Quadranten parallel bewegen und daſs seine wahre Drehungs-Axe genau dem Centrum des auf dem Rande gezeichneten Kreises entsprechen muſs, versteht sich von selbst. Indeſs gilt die Bemerkung, daſs ein ganzer Kreis Vorzüge vor dem Quadranten habe, auch hier. B.

Quadratur s. Aspecten.

Quecksilber.

Hydrargyrum, argentum vivum, Mercurius; Mercure; *Quicksilver, Mercury.*

Digitized by Google

Dieses seit den ältesten Zeiten bekannte Metall findet sich häufig gediegen und als Schwefelquecksilber, selten in Verbindung mit Selen oder Chlor. Es wird durch Destillation der Erze in Berührung mit Luft, Kalk oder Eisenhammerschlag gewonnen, welche ihm den Schwefel entziehn.

Das Quecksilber gefriert bei — 39°, 44 C. unter beträchtlicher Zusammenziehung zu einer sehr weichen, ductilen Masse. Bei gewöhnlicher Temperatur erscheint es als eine zinnweiſse, sehr cohärente Flüssigkeit, deren specifisches Gewicht nach Karsten 13,5592, nach Cavendish und Brisson 13,568, nach Fahrenheit 13,575 und nach Biddle 13,613 beträgt. Durch Schütteln oder Reiben mit fremdartigen Körpern, wie Wasser, Oel, Pulvern u. s. w., wird es durch immer feinere Zertheilung seiner Tropfen in ein graues, glanzloses Pulver, den *Aethiops per se,* verwandelt, welches das *Exstinguiren* oder *Tödten* des Quecksilbers genannt wird, flieſst aber nach Entfernung der dazwischen gelagerten Körper sogleich wieder zum laufenden Quecksilber zusammen. Der Siedepunct des Quecksilbers liegt nach Crichton bei 346°, nach Dalton bei 349°, nach Heinrich bei 356°, nach Dulong und Petit bei 360°; doch verdunstet es auch schon bei gewöhnlicher Temperatur sowohl im luftleeren als auch im lufterfüllten Raume.

Seine Verbindungen mit Sauerstoff sind:

1. Das *Quecksilberoxydul* (202 Quecksilber auf 8 Sauerstoff) ist ein schwarzes Pulver, welches sich bei Einwirkung von Licht oder Wärme in Metall und Quecksilberoxyd zersetzt. Seine Salze sind meistens farblos und von gelind giftiger Wirkung; phosphorige und schwefelige Säure, Kupfer und viele andere Metalle schlagen aus ihnen metallisches Quecksilber nieder; ätzende Alkalien fällen sie schwarz, Phosphorsäure weiſs, Hydrothionsäure braunschwarz, Hydriodsäure gelb, Salzsäure weiſs, chromsaure Alkalien scharlachroth. Das salpetersaure Quecksiberoxydul wird durch Auflösen überschüssigen Quecksilbers in kalter verdünnter Salpetersäure erhalten und schieſst aus der farblosen Auflösung, welche die Haut schwarzroth färbt, in kurzen weiſsen Säulen an.

2. Das *Quecksilberoxyd* oder der *rothe Präcipitat* (101 Quecksilber auf 8 Sauerstoff) wird gewöhnlich durch Erhitzen des Quecksilbers mit Salpetersäure bis nahe zum Glühpuncte erhalten; es erscheint in ziegelrothen, glänzenden Körnern oder

Digitized by Google

pulverig, von 11,2 specif. Gewicht, zeigt einen scharfen Geschmack und sehr giftige Wirkung und zerfällt in der Glühhitze in Sauerstoffgas und Quecksilberdampf. Die Quecksilberoxydsalze sind meistens farblos, wirken als sehr scharfe Gifte, werden durch dieselben Mittel metallisch gefällt, wie die Quecksilberoxydulsalze, wobei sie oft zuerst zu solchen reducirt werden, und geben mit Ammoniak einen weiſsen, mit fixen Alkalien einen rothgelben, mit phosphorsauren Alkalien einen weiſsen, mit wenig Hydrothionsäure einen weiſsen, mit mehr einen braunschwarzen und mit Hydriodsäure einen scharlachrothen Niederschlag. Hierher gehören das *schwefelsaure Quecksilberoxyd*, welches durch Erhitzen von Vitriolöl mit Quecksilber als eine weiſse Masse erhalten wird und durch Wasser in sich auflösendes saures Salz und zurückbleibendes gelbes basisches Salz, das *turpethum minerale*, zersetzt wird; das *salpetersaure Quecksilberoxyd*, durch Auflösen des Quecksilbers in überschüssiger erhitzter Salpetersäure zu erhalten, aus der durch Abdampfen bis zum specif. Gewichte von 3,47 zu concentrirenden Lösung in farblosen langen Säulen anschieſsend; das *knallsaure Quecksilberoxyd* oder *Knallquecksilber*, bei mäſsigem Erhitzen von salpetersaurem Quecksilberoxyd mit Salpetersäure und Weingeist sich erzeugend und während des Erkaltens in kleinen Krystallen niederfallend, durch sein heftiges Verpuffen ausgezeichnet, welches durch Reiben, Erhitzen, elektrische Funken und Vitriolöl erregt wird.

Das *Halbchlorquecksilber* (202 Quecksilber auf 36 Chlor) findet sich als Quecksilberhornerz und wird als *Mercurius dulcis* oder *Calomel* auf verschiedene Art bereitet, gewöhnlich durch Sublimation eines Gemenges aus Quecksilbersublimat und Quecksilber. Es krystallisirt in quadratischen Säulen, wird durch Sublimation als eine schmutzig weiſse faserige Masse von 7,14 spec. Gewicht und durch Fällung als weiſses Pulver erhalten, verdampft unter der Glühhitze ohne Schmelzung, zeigt keinen Geschmack und milde Wirkungen und ist unauflöslich im Wasser.

Das *Einfachchlorquecksilber*, der *ätzende Quecksilbersublimat*, (101 Quecksilber auf 36 Chlor) wird meistens durch Sublimation von schwefelsaurem Quecksilberoxyd mit Kochsalz dargestellt, krystallisirt aus Wasser in geraden rhombischen

Digitized by Google

Säulen, erscheint nach der Sublimation als eine dichte, halbdurchsichtige, weiſse Masse von 5,42 specif. Gewicht, verdampft in der Hitze noch leichter als Calomel nach vorheriger Schmelzung, schmeckt scharf metallisch, wirkt als äuſserst scharfes Gift und löst sich in 18 Theilen kaltes Wasser, in 4 Aether und in 3 Weingeist.

Mit Brom geht das Quecksilber zwei ähnliche Verbindungen ein, wie mit Chlor. Das *Halbiodquecksilber* und das *Einfachiodquecksilber* erhält man durch Fällen des salpetersauren Quecksilberoxyduls oder Oxyds mit Hydriodsäure. Ersteres ist in der Kälte gelb, in der Wärme roth, letzteres in der Kälte scharlachroth und in der Schmelzhitze gelb. Beide sind schmelzbar und verdampfbar und nicht im Wasser löslich.

Das *Schwefelquecksilber* (101 Quecksilber auf 16 Schwefel) ist im rothen Zustande als *Zinnober* bekannt, der sowohl reichlich in der Natur vorkommt, als auch durch Zusammenschmelzen von Schwefel mit Quecksilber und Sublimiren auf trockenem Wege oder durch Zusammenreiben von Quecksilber, Schwefel und hydrothionsaurem Kali auf nassem Wege dargestellt wird. Er krystallisirt in spitzen Rhomboedern und sechsseitigen Säulen, sublimirt in faserigen Massen, zeigt ein specif. Gewicht von 8,124 und ist in Masse cochenilleroth, in Pulvergestalt scharlachroth. Durch Fällen der Quecksilberoxydsalze mit Hydrothionsäure erhält man einen Niederschlag, der auf dieselbe Weise zusammengesetzt ist, wie der Zinnober, aber schwarz erscheint und erst beim Erhitzen roth wird, was vielleicht von einem Dimorphismus des Schwefelquecksilbers abzuleiten ist.

Das *Cyanquecksilber* (101 Quecksilber auf 26 Cyan) wird dargestellt, indem man Quecksilberoxyd entweder mit Wasser und Berlinerblau kocht und filtrirt, oder in wässeriger Blausäure löst; in beiden Fällen schieſst beim Concentriren der Flüssigkeit das Cyanquecksilber in weiſsen quadratischen Säulen an, von sehr scharfem Geschmacke und narkotisch scharfer Wirkung. Es zerfällt beim Erhitzen in Cyangas und Quecksilber und ist leicht in Wasser und Weingeist löslich.

Eine höchst merkwürdige Verbindung geht das Quecksilber mit Wasserstoff und Stickstoff zugleich ein, welche unter dem Namen des Ammonium-Amalgams bekannt ist. Sie enthält auf 1 Atom Stickstoff 4 Wasserstoff oder auf 1 Ammoniak 1

Wasserstoff und bildet sich, wo Quecksilber mit Ammoniak und frei werdendem Wasserstoffe zugleich in Berührung ist, z. B. wenn man zu concentrirtem wässerigem Ammoniak oder zu einem angefeuchteten Ammoniaksalze, welches sich im Kreise der Volta'schen Säule befindet, die negative Elektricität durch Quecksilber übertreten läſst, oder wenn man Quecksilber, worin etwas Kalium oder Natrium gelöst ist, mit einem angefeuchteten Ammoniaksalze in Berührung bringt. In diesen Fällen schwillt das Quecksilber um das zehnfache auf zu einer butterartigen Masse, die jedoch in wenigen Minuten unter Entwicklung von Ammoniak- und Wasserstoffgas wieder zu laufendem Quecksilber zusammengeht.

Die Verbindungen des Quecksilbers mit den übrigen Metallen, die *Amalgame*, werden meistens in der Hitze dargestellt, indem man die schmelzbarern Metalle in flüssigem Zustande, die übrigen in glühendem mit dem Quecksilber zusammenbringt. Das *Silberamalgam* findet sich natürlich in Gestalten des regelmäſsigen Systems. Es wird gleich dem *Goldamalgam* durch Eintauchen glühender Bleche in erhitztes Quecksilber erhalten. Beide Amalgame sind körnig, in der Wärme weich und sie dienen zur heiſsen Versilberung und Vergoldung. Das *Platinamalgam* erhält man am bequemsten durch Zusammenreiben von schwammigem Platin mit Quecksilber; es hat Butterconsistenz und kann ebenfalls zum Ueberziehn anderer Metalle mit Platin verwendet werden.

G.

Quelle.

Quell, Brunnen; *Fons;* Source, Fontaine; *Spring, Fountain, Well.*

Man bezeichnet durch den Ausdruck die *Quelle*, seltner und mehr im rhetorischen Style der *Quell*, sehr häufig und hauptsächlich in der Sprache des gemeinen Lebens *Brunnen*, denjenigen Ort, wo irgend eine Flüssigkeit aus oder in der Erde hervorkommt, auch dieses Hervorkommen selbst, obgleich man hierfür sich fast ausſchlieſslich nur des Zeitworts *quellen* bedient. Beide Worte, Quelle und quellen, bezeichnen in der

deutschen Sprache ebenso, als ihre Synonyme in den fremden, die angegebnen Begriffe so allgemein, daſs man auch von Gas-, Feuer-, Elektricitäts-, Wärme- und Licht-Quellen redet, ja sogar auch bildlich von der Quelle des Guten u. s. w. In diesem Artikel kann jedoch nur von den Quellen des Wassers, des reinen und gemischten, und solcher tropfbarer Flüssigkeiten die Rede seyn, die mit dem Wasser zugleich oder auf gleiche Weise als dieses aus der Erde hervorkommen.

I. Ursprung der Quellen.

Seit den ältesten Zeiten hat man sich bemüht, den Ursprung der Quellen, namentlich in Beziehung auf die beständige Dauer der meisten unter ihnen, zu erklären. Schon Aristoteles[1] führt mehrere Meinungen hierüber an, giebt aber derjenigen den Vorzug, wonach Berge und sonstige hohe Orte das Wasser der atmosphärischen Niederschläge anziehn, in Höhlen ansammeln und allmälig daraus abflieſsen lassen, wobei er dann in Gemäſsheit der damals herrschenden Ansichten zugleich annimmt, die eingeschlossene Luft jener Räume werde gleichfalls in Wasser verwandelt. Seneca[2] ist im Ganzen ein Anhänger dieser Ansicht, fügt aber wegen der ergiebigen Reichhaltigkeit mancher Quellen die aus der Theorie von den vier Elementen leicht erklärliche Hypothese hinzu, daſs auch die Erde in Wasser verwandelt werde. Mit Ausschluſs dieser nichtigen Zusätze erklärt Vitruv[3] den Ursprung der Quellen vollständig. Nach ihm entstehn sie durch das Regen- und Schneewasser, welches in die Erde so lange eindringt, bis es durch Stein-, Erz- und Thonlager aufgehalten und genöthigt wird, sich seitwärts einen Weg zum Abflieſsen zu suchen. Oft sammelt sich das Regenwasser auf Bergen und dringt sonach tiefer ein, was insbesondre vom Schnee gilt, der sich auf den Bäumen und in Vertiefungen länger aufhält. Neben dieser Hypothese existirte eine andere, deren Urheber Lucretius Carus[4] genannt werden kann. Nach ihm wird das Seewasser durch die feinen Zwischenräume der Erde filtrirt,

1 Meteor. L. I. cap. 13.
2 Quaest. Natur. L. III. cap. 9.
3 De Archit. L. VIII. cap. 1.
4 De Rer. nat. L. VI. v. 633.

in den Flüssen gesammelt und auf diese Weise zur Erneuerung des Kreislauſs wieder zurückgeführt.

Beide erwähnte Hypothesen stammten aus einer Zeit, in welcher man noch nicht zu experimentiren und selbst die angenommenen Gröſsen nicht einmal schärfer zu bestimmen pflegte, so daſs die Wahrheit nur durch den das Ganze scharfsinnig auffassenden Verstand gefunden werden konnte; dagegen ist es eine fruchtbare Eigenthümlichkeit der neuern Physik, alle verwandte Erscheinungen bei der Erklärung eines einzelnen Phänomens zusammenzunehmen und die dabei vorkommenden Gröſsen nicht im Allgemeinen, sondern scharf oder mindestens genähert zu bestimmen. So verfuhr der scharfsinnige Mariotte[1] bei seiner noch bis auf den heutigen Tag gangbaren Theorie über den Ursprung der Quellen. Hiernach entstehn dieselben durch das Wasser der atmosphärischen Niederschläge, welches in die feinen Canäle eindringend sich in den gegrabenen Brunnen sammelt. Fällt jenes Wasser auf Hügel oder Berge, so dringt es in die Oberfläche ein, insbesondere wenn diese zwischen Gerölle und Baumwurzeln eine Menge feiner Risse enthält, bis es auf festes Gestein kommt, darin nicht eindringen kann und sich daher seitwärts einen Weg bahnt. Daſs das atmosphärische Wasser zur Speisung der Quellen völlig ausreiche, ergiebt sich aus einer leicht anzustellenden Berechnung, auſserdem aber bemerkt man stets, daſs die Quellen bei regnerischem Wetter zunehmen, nach anhaltender Dürre aber ganz oder zum Theil versiegen. Selbst Flüsse verlieren zuweilen $\frac{5}{6}$ ihres Wassergehalts, und wenn gewisse Quellen dieser Veränderung weniger unterworfen sind, so liegt dieses daran, daſs sie sich groſse Behälter ausgehöhlt haben, aus denen nur ein spärlicher Theil anhaltend ausflieſst.

Mariotte konnte bei der Gründung seiner Theorie unmöglich schon alle später aufgefundene Thatsachen kennen, diese also nicht in Anwendung bringen und dadurch das Ganze vervollständigen; indeſs erfordert die Achtung gegen seinen Scharfsinn, auch das Uebrige kurz zu erwähnen, was er zur

---

1 Traité du mouvement des eaux et des autres corps fluides. Oeuvres de Mariotte. Leide 1717. 4. T. II. p. 326. speciell von p. 333 bis 340.

Digitized by Google

Unterstützung seiner Hypothese beigebracht hat. Die Meinung derer, die annehmen, Quellen entständen aus den Dünsten, welche aus der Erde aufstiegen und in höher liegenden Gewölben niedergeschlagen würden, nimmt er nicht an, und wenn behauptet werde, man habe Quellen auf diese Weise entstehn gesehn, so müsse man gegen dergleichen Erzählungen miſstrauisch seyn und im Falle der wirklich stattgefundnen Beobachtungen könne man von solchen einzelnen Ausnahmen nicht auf das Ganze schlieſsen. Die Einwendung, daſs das Regenwasser nur bis etwa 0,5 Fuſs eindringe, scheint ihm nichtig, weil dieses allerdings bei beackertem Boden statt finde, aber nicht in Wäldern, wo die feinen Canäle tief herabgehn; auch dringe bei 12 und mehrere Tage anhaltendem Regen das Wasser nach Sättigung der Kruste allerdings in die Tiefe und zeige sich beim Graben der Brunnen wieder. Mariotte führt Beispiele an, daſs in den Gewölben des pariser Observatoriums und in sonstigen eine der Regenmenge ziemlich nahe proportionale Menge von Wasser herabtröpfelt; einst sah er sogar, daſs in einem aufgeschütteten Haufen von Gerölle sich eine Quelle aus dem Wasser der Dächer bildete, weil dasselbe in den zahlreichen Räumen zurückgehalten wurde, durch das Pflaster nicht dringen konnte und daher seitwärts einen Ausweg fand. Sind bei hohen Bergen dergleichen Anhäufungen bedeutend mächtiger, so sinkt das Wasser tiefer herab und man erhält niedriger zum Vorschein kommende Quellen, die den Wechsel der regnerischen oder trocknen Witterung weniger kenntlich machen. Um zu beweisen, daſs das atmosphärische Wasser zur Speisung der Quellen vollkommen genüge, lieſs er zu Dijon ein Regenmaſs aufstellen, und die Beobachtung ergab im Mittel jährlich 19 Z. 2⅓ Lin. Regenwasser. Statt dessen nimmt er nur 15 Zoll an, wonach auf eine Quadrat-Toise 45 Kubikfuſs kommen. Rechnet man die Lieue zu 2300 T. Länge, so giebt eine Quadrat-Lieue 5'290000 Quadrattoisen und also 238'050000 Kub. Fuſs Regenwasser jährlich. Wenn man ferner die Länge bis zu den Quellen der Seine und der sie speisenden Flüsse zu 60 Lieues, die Breite dieses Gebiets zu 50 Lieues annimmt, so erhält man 3000 Quadratlieues, von denen die ungeheure Menge von 714150 Millionen Kubikfuſs Wasser nach Paris gelangt. Die Seine hat oberhalb des Pont-Royal 400 F. Breite, 5 F.

mittlere Tiefe und 100 F. mittlere Geschwindigkeit in einer Minute, wonach also 200000 Kub. F. Wasser in dieser Zeit, mithin 105120 Millionen Kub. Fuſs oder nicht ganz der sechste Theil der obigen Menge jährlich durch die Brücke flieſsen.

Die so eben erwähnte, bei weitem am ersten sich auf-dringende Hypothese fand bedeutende Gegner in Perrault[1] und de la Hire[2]. Beide beriefen sich auf die schon von Seneca geäuſserte Bedenklichkeit, daſs das atmosphärische Wasser gar nicht tief in die Erde eindringe, und auſserdem stellte Letzterer zur Prüfung und Widerlegung eigene Versuche an. Er grub eine Schüssel 8 Fuſs tief etwas schief liegend in die Erde, und leitete von ihrer tiefsten Stelle eine 12 Fuſs lange bleierne Röhre in den Keller, aus welcher jedoch während 15 Jahren kein Tropfen Wasser auslief. Eine andere Schüssel mit 8 Z. hohem Rande und von 64 Quadratzoll Flächeninhalt wurde 8 Z. tief an einem weder der Sonne noch dem Winde ausgesetzten Orte eingegraben, gab aber vom 12. Juni bis zum nachfolgenden 29. Febr. kein Wasser und dann nur etwas weniges, nachdem es geregnet hatte und sogleich ein starker Schnee gefallen war. Als die nämliche Schüssel 16 Z. tief eingegraben wurde, gab sie gleichfalls kein Wasser und die über ihr stehenden Pflanzen vertrockneten aus Mangel an Feuchtigkeit. Aus diesen Versuchen schlieſst de la Hire, das atmosphärische Wasser dringe nicht in den Boden, wenn er nicht ausnahmsweise aus Kies bestehe oder damit gemengt sey, und somit könnten auch nur wenige Quellen ihren Ursprung aus den Hydrometeoren erhalten. Perrault berief sich auf Untersuchungen, wonach selbst auf Hügeln, ebenso wie auf weiten Flächen, auch die stärksten Regen niemals über 2 Fuſs tief eindringen. Den hierauf gebauten Schlüssen setzt Mariotte die Behauptung entgegen, daſs ein tieferes Eindringen des atmosphärischen Wassers bloſs bei unangebauten Gegenden statt finde, wobei ihm die oben erwähnten Erfahrungen bei den Gewölben der pariser Sternwarte und andere zum Beweise dienten.

Sedileau[3] erklärte sich gegen Mariotte's Hypothese,

---

1 Oeuvres diverses. T. II. p. 787.
2 Mém. de l'Acad. 1703. p. 68.
3 Mém. de l'Acad. 1693. p. 117.

weil zu ihrer Unterstützung eine unhaltbare Berechnung diene, worin die oben erwähnte Breite des Fluſsgebiets der Seine von 50 Lieues ganz willkürlich angenommen sey. Auf solche Weise könne man Flüsse finden, die kaum den dreiſsigsten Theil des atmosphärischen Wassers abführten, während sie in andern Gegenden die gesammte Menge gar nicht fassen könnten; überhaupt könne für eine solche Berechnung bloſs eine Insel dienen, aber aus Angaben, die Riccioli [1] mittheilt und Sedileau selbst nicht für zuverlässig hält, folgert letzterer, daſs in Groſsbritannien kaum halb so viel Wasser vom Himmel falle, als durch die Flüsse abflieſst. Halley [2] hatte bei seinem Aufenthalte auf St. Helena oft die Erfahrung gemacht, daſs der nächtliche Thau auf den Bergen die Gläser seiner Fernröhre mit dicken Tropfen bedeckte und das Papier durch Feuchtigkeit zum Schreiben untauglich machte. Es schien ihm aber das Regen- und Schneewasser zur Speisung der Quellen nicht zureichend zu seyn, und er glaubte daher, daſs die hauptsächlich aus dem Meere aufsteigenden Dünste sich auf Hügeln und Bergen verdichteten und am Fuſse derselben wieder zum Vorschein kämen. Eine hierbei zum Grunde gelegte Berechnung über die Menge des aus dem mittelländischen Meere aufsteigenden Dampfs und der durch die Flüsse zugeführten Wassermasse beruht auf unrichtigen Annahmen; indeſs traten auch Lulofs und Kaestner [3] wegen ähnlicher Erfahrungen, die sie gemacht hatten, dieser Erklärung bei. Die Vertheidiger groſser unterirdischer Wasserbehälter, wie unter andern Woodward, machten hiergegen den Einwurf, daſs die höchsten Gebirge, namentlich die Alpen, auf denen sich vorzugsweise die Quellen groſser Flüsse befinden, während der sechs Wintermonate mit Schnee und Eis bedeckt seyen und also die Quellen versiegen müſsten, allein de Luc [4] zeigt, daſs hiermit ganz übereinstimmend die Quellen groſser Flüsse eben im Winter am schwächsten sind, in den heiſsen

1 Geograph. reform. L. X. cap. 7.

2 Phil. Trans. Num. 102. T. X. p. 447. Vergl. Num. 159. vom Jahre 1674. Num. 189. T. XV. vom Jahre 1687. Num. 192. T. XVI. p. 468. Num. 212. T. XVIII. p. 183.

3 Lulofs Einleitung zur math. und phys. Kenntniſs der Erdkugel. Aus d. Holl. übers. von Kaestner. Leipzig 1755. 4. S. 295.

4 Untersuchungen über die Atmosphäre. Th. I. §. 155.

Digitized by Google

Monaten aber das meiste Wasser liefern. Inzwischen wird hierdurch bloſs die Einwendung widerlegt, die Erklärung selbst aber keineswegs als richtig bewiesen.

Man hat gegen die durch Halley und auch die durch Mariotte aufgestellten Hypothesen insbesondere den Einwurf vorgebracht, daſs manche Quellen sehr hoch, selbst am Fuſse niedriger Hügel getroffen werden. Derham[1] unter andern führt eine Quelle bei Upminster an, welche nicht mehr als 100 F. über dem Meeresspiegel ihr Wasser aus einem etwa 15 bis 16 F. hohen Hügel nehme, und setzt hinzu, daſs es in Essex überall keine Berge gebe, deren Höhe 400 Fuſs übersteige, und dennoch finde man dort Quellen in Menge und hinlänglich reiche. Wie auch dieser allerdings scheinbare Einwurf widerlegt werden könne, wird sich aus dem Folgenden ergeben.

Unter den sonstigen Hypothesen zur Erklärung der vielfach untersuchten Aufgabe verdient die des Cartesius[2] zuerst genannt zu werden. Nach ihm giebt es in der Erde eine Menge durch unterirdische Canäle mit der See in Verbindung stehende Höhlen, in welche das Meerwasser dringt, dann durch die Wärme des Erdkerns verdampft, und da dieser entstandene Dampf bis zu den Wölbungen jener Höhlen hoch aufsteigt und dort zu Tropfen verdichtet wird, die in feinen Canälen zusammenflieſsen, so müssen hieraus nothwendig Quellen gebildet werden. Andala[3], Guglielmini[4], Woodward[5], Rohault[6], Kühn[7] und auch Kircher[8] haben diese Hypothese weiter ausgeführt und hinzugesetzt, das Seewasser werde durch die Destillation von seinen Salzen befreit, weswegen aber Gehler meint, das Innere der Berge müsse hiernach längst mit den zurückgebliebnen Salzen ausgefüllt seyn. Auch

1 Physicotheology. Lond. 1754. 8. L. II. chap. 5.

2 Princip. Philos. P. IV. §. 64 ff.

3 Exercitat. acad. Part. IV.

4 Opera. T. I. p. 304.

5 Essay towards a natural history of the Earth and terrestrial Bodies. 1695.

6 Traité de Physique. Par. 1673. P. II. c. 10.

7 Gedanken vom Ursprunge d. Quellen u. des Grundwassers. Berl. 1746. 8.

8 Mundus subterr. T. I. L. V. c. 1.

Perrault[1] ist zum Theil Anhänger dieser Hypothese. Nach ihm entstehn die Flüsse aus zuſammengeflossenem Schnee- und Regenwasser, die Quellen und Brunnen des platten Landes aus dem in die Erde dringenden Wasser der Flüsse, die Quellen höherer Berge aber aus einer im Innern statt findenden Verdampfung. Zur Unterstützung der letztern Meinung erzählt er, daſs auf dem Berge Odmiloost in Slavonien Steine gebrochen wurden, und als man bis 10 F. Tiefe gekommen war, drang ein starker Dunst mit groſser Gewalt hervor, welcher 13 Tage anhielt, aber nach 3 Wochen waren alle Quellen der Umgegend vertrocknet. Auch in der Nähe von Paris versiegte eine Quelle, die eine Mühle trieb, zum Theil, als man in der Nähe einen Steinbruch geöffnet hatte, aus welchem ein starker Dunst drang, erhielt jedoch ihr Wasser wieder, nachdem der Steinbruch vermauert war.

Eine zweite, gleichfalls mit groſsem Beifalle aufgenommene, Hypothese ist durch Kircher am meisten bekannt geworden, rührt aber schon von Varenius[2] und Derham[3] her. Diese nahmen an, das Wasser des Meers steige in den feinen Zwischenräumen der Erde und der Felsen, wie in Haarröhrchen, auf, halte den Boden stets feucht, sammle sich in Räumen und flieſse dann ab. Kircher behauptet eine kleine Säule von Gyps verfertigt und oben mit einem Schüsselchen versehn zu haben, worin sich das Wasser ansammelte, welches vom Fuſse der Säule aufgesogen wurde; allein die seitdem durch Theorie und Erfahrung besser begründeten Gesetze der Capillarität ergeben, daſs Kircher diesen Versuch, ebenso wie die Form der Wölbungen, die er den unterirdischen Höhlungen beilegt, bloſs ersonnen habe. Lulofs fand dieses bereits durch wirkliche Ausführung des angegebnen Versuchs, Perrault aber setzte eine bleierne Röhre mit trocknem durchgesiebtem Fluſssande gefüllt aufrecht 4 Lin. tief ins Wasser und fand nach 24 Stunden den Sand 18 Z. hoch angefeuchtet. Er bohrte daher nur 2 Zoll über der Oberfläche des Wassers ein Loch von etwa 8 Lin. Durchmesser in die Röhre, steckte eine schiefe, mit trocknem Sande gefüllte Rinne hinein

1 Oeuv. div. T. II. p. 737.
2 Geogr. gener. Cap. 15. prop. 5.
3 Physicotheology. L. II. c. 5.

und legte Flieſspapier darunter, allein dieses wurde zwar feucht, aber es bildete sich nicht einmal ein Tropfen an dem herabhängenden Ende des Papiers. Auf jeden Fall muſs man diese Hypothese gänzlich verwerfen, denn die harten Felsen nicht gerechnet, durch welche das Meerwasser unmöglich aufsteigen könnte, ist die Höhe mancher starker Quellen viel zu beträchtlich, als daſs die Capillarattraction das Wasser so hoch heben könnte, und auſserdem würde das Seewasser hierdurch seine Salzigkeit nicht verlieren, da seine Salze durch bloſse Filtration nicht ausgeschieden werden.

Wegen der Unhaltbarkeit der übrigen Hypothesen ist man in den neuern Zeiten den Ansichten hauptsächlich von Mariotte, zugleich aber denen von Halley beigetreten. Namentlich ist dieses geschehn durch de Lüc[1] bei seinen Widerlegungen der andern Theorieen, vollständig aber hat Hube[2] diesen Gegenstand behandelt. Nach ihm dringt das atmosphärische Wasser in die verschiedenen Arten des Bodens ungleich tief ein, bis es durch feste Erd- und Steinlagen zurückgehalten wird, wie man insbesondere in Höhlen und Bergwerken sieht, wo das Wasser in solcher Menge durch die Risse und Spalten dringt, daſs es nur mit groſser Mühe fortgeschafft wird. Kommt das Wasser auf undurchdringliche Schichten, so sammelt es sich in der obern lockern Erde an und bildet in den verschiedenen Tiefen das, was die Teichgräber den *Seegrund* nennen; zuweilen steigen diese nassen Schichten selbst bis zur Oberfläche, machen den Boden naſs und dadurch unfruchtbar. Der Seegrund wird durch häufigen Regen nässer, und gräbt man in diesen Gegenden ein Loch, so erhält man einen Brunnen, indem die meisten Brunnen ihr Wasser aus dem Seegrunde haben (eine mit der Wahrheit nicht übereinstimmende Behauptung). Das Wasser der unterirdischen nassen Schichten bahnt sich oft einen Ausweg seitwärts und bildet dann die Quellen, die daher bei nassem Wetter ergiebiger sind. Hiernach müssen sie in ungleichen Höhen, selbst in Flüssen und sogar im Meere, zum Vorschein kommen, und wenn sie sich auch auf hohen Bergspitzen zu finden scheinen,

---

1 Untersuchungen über die Atmosphäre. Th. I. §. 154.

2 Vollständ. u. faſsl. Unterricht in d. Naturl. Bd. I. S. 117. Bd II. S. 222.

Digitized by Google

so liegen sie doch allezeit etwas niedriger, wie z. B. der Hexenbrunnen auf dem Brocken, und auſserdem werden die Gipfel der Berge durch die unablässig auf ihnen ruhenden Wolken stets feucht erhalten. Insofern Hube die Elektricität hierbei als thätig annimmt, ist seine Ansicht nicht richtig, wohl aber indem er die Wirksamkeit der Wolken anerkennt, die oft von der See herbeigetrieben ihre Feuchtigkeit an den Gipfeln der Berge abgeben.

Als Verbreiter der jetzt gangbaren Theorie über den Ursprung der Quellen ist wohl de la Metherie[1] zu betrachten. Nach diesem verdichten die Berge und das an diese grenzende Land nebst den Hügeln die Dünste, die Bergspitzen halten die Nebel auf, die Wolken setzen Feuchtigkeit an dieselben ab und das Regenwasser dringt in sie ein, aus welchen sämmtlichen vereint wirkenden Ursachen der Ursprung der Quellen erklärbar wird, insbesondere wenn man der Versicherung Glauben schenkt, daſs die Masse Erde, die zur Aufführung eines Bollwerks oder eines Festungswerks erfordert wird, zur Erzeugung einer perennirenden Quelle genügt. Hiernach bekennt sich also de la Metherie zu der durch Halley aufgestellten Hypothese, indem er aber zugleich im Allgemeinen das Quellwasser mit Mariotte für atmosphärischen Ursprungs hält, giebt er noch folgende dabei mitwirkende Bedingungen an. Insbesondere ist die Beschaffenheit der Erdart zu berücksichtigen, auf welche das Wasser der Hydrometeore fällt. Die Kalkerde soll nur wenige Verwandtschaft zu demselben haben, der Quarzsand gar keine, weswegen erstere dasselbe nur wenig, letzterer gar nicht zurückhält, durch Thonlager, selbst gemischte, dringt es aber nicht. Hiernach flieſst ein Theil des gefallnen Regens sogleich ab, ein anderer befeuchtet den Boden, verdunstet und ernährt die Pflanzen, ein dritter dagegen dringt ein, wird in ungleicher Tiefe zurückgehalten und bildet dort eine Art von See, aus welchem das Wasser allmälig am Abhange des Hügels abflieſst. Harte Steinmassen, namentlich die der sogenannten Urgebirge, wirken hierbei wie Thonschichten und nöthigen das Wasser auf ihrer Oberfläche abzuflieſsen, die secundären Gebirgsarten dagegen sammeln das Wasser in ihren Spalten, bis dasselbe irgendwo

1 Theorie d. Erde. 1797. 2. Th. 8. Th. II. S. 259.

einen Ausweg findet und die reichen Quellen bildet, deren einige sogar im Meere selbst zum Vorschein kommen. Aus der Wirkung solcher undurchdringlicher Thonlager werden dann auch die sogenannten artesischen Brunnen erklärlich, zugleich aber sind viele Gründe vorhanden, welche vermuthen lassen, daſs ein Theil des atmosphärischen Wassers in das Innere der Erde dringe, wobei jedoch de la Metherie nicht angiebt, wo dieses Wasser endlich bleibt, wohl aber andeutet, daſs es bis in die Gegenden der unterirdischen Vulcane gelangen könne und dort durch Verdampfung den Ursprung der heiſsen Quellen nach der Ansicht des Cartesius bedinge.

Man darf wohl sagen, daſs die zuerst durch Mariotte ihrem wesentlichen Inhalte nach aufgestellte Theorie vom Ursprunge der Quellen gegenwärtig allgemein angenommen werde, nachdem insbesondere de Lüc die dagegen erhobenen Zweifel genügend beseitigt hat, wonach man also den geraume Zeit hierüber geführten Streit als beendigt ansehn darf [1]. Es wird daher genügen, als die wichtigsten Gewährsmänner für diese Meinung nur noch etwa Lichtenberg [2], Joh. Tob. Mayer [3] und J. F. W. Otto [4] anzuführen, denen die späteren gefolgt sind. Was man als modificirend hinzugesetzt hat, kommt im Wesentlichen auf Folgendes zurück. Die Ufer des Meers und die Betten der Flüsse bestehn zum Theil aus Massen, welche für das Wasser undurchdringlich sind, zum groſsen Theile aber auch aus so lockern Erdarten, insbesondere aus Sand, daſs eine bedeutende Menge Wasser bis auf beträchtliche Strecken in dieselben eindringt. Eine nothwen-

---

1 Vergl. Caspar Bartholini diss. de origine fontium fluvior. ex pluviis. Hafn. 1689. 4. Is. Vossii de Nili atque aliorum fluminum origine. Hag. Com. 1666. 4. Vallisneri lezzione intorno l'origine delle fontane. Ven. 1715. 4. Riflessioni sopra l'origine delle Fontane cet. dal Dott. Nicol. Gualtieri. In Lucca 1728. 8. Nicol. Ghezzi dell' origine delle fontane. Venez. 1741. 12. G. E. Hambergeri et auct. A. F. Dankwerts diss. de fontium origine. Jen. 1733. 4. J. G. Wallerii et Sven. Westphal diss. de origine fontium 1761. u. a. m.

2 Erxleben's Naturlehre. §. 688—690.

3 Lehrbuch über die physische Astronomie, Theorie der Erde und Meteorologie. Gött. 1805. 8. §. 103 ff.

4 Versuch einer physischen Erdbeschreibung. Berl. 1800. S. 50. G. XII. 614.

dige Folge hiervon iſt, daſs beim Graben bis auf eine Tiefe unter dem Spiegel des Meers und der Flüsse stets Waſser gefunden wird, was die Brunnengräber und Baumeiſter mit dem Namen *Grundwasser*[1] bezeichnen und deſſen Höhe dem wechſelnden Spiegel des Meers oder der Flüsse stets gleich bleibt. Es folgt jedoch nicht, ſelbst wenn der letztgenannte Umſtand ſtatt findet, daſs dieses Grundwaſſer ſtets in Folge des Durchſeihens durch die lockern Erdſchichten angeſammelt wird, vielmehr kann jener gleichbleibende Stand eine Folge davon ſeyn, daſs das aus atmoſphäriſchen Niederſchlägen angehäufte Grundwaſſer auf einer wenig geneigten Ebene unterirdiſch in die Flüsse oder in das Meer abflieſst, hierbei aber nach dem Geſetze communicirender Röhren ſtets mit jenen ein gleiches Niveau behalten muſs. Das Waſſer der Hydrometeore wird nämlich nicht insgeſammt durch die Verdunſtung wieder entfernt, denn wenn dieses wäre, ſo müſste man zugleich annehmen, daſs alles von der Meeresfläche verdampfende Waſſer wieder in das Meer zurückfiel, und die Entſtehung der Flüsse wäre hiernach unerklärlich; allein es kommt hierbei ſehr auf die eigenthümliche Beſchaffenheit des Bodens an. Lockerer Sand läſst das atmoſphäriſche Waſſer bis zur gröſsten Tiefe eindringen, wie ſchon MARIOTTE angegeben hat, wenn ſich unter demſelben nicht eine feſte Schicht von Steinen, Thon oder einer Miſchung von Eiſenoxydhydrat mit Sande befindet. Solche Sandebenen ſind daher meiſtens ſehr trocken, aber dennoch findet man häufig in einiger Tiefe das ſogenannte Grundwaſſer, je es befinden ſich in ihrer Nähe häufig die ſogenannten Moore und Brüche, wo das Waſſer ſtagnirt, weil es keinen Abfluſs hat. Iſt das Grundwaſſer der Ebenen in der Nähe des Meers wirklich durch Filtriren angeſammeltes Seewaſſer, ſo muſs es ſalzig ſeyn, inzwiſchen iſt es bei weitem in den meiſten Fällen ſüſs und alſo atmoſphäriſchen Urſprungs. Quellen findet man in ſolchen ſandigen Gegenden verhältniſsmäſsig ſelten, gegrabene Brunnen leichter, wenn nicht die Tiefe des Sands das Graben erſchwert oder unmöglich macht; jedoch werden allezeit Quellen erzeugt, wenn das Waſſer der Hydrometeore aus höher liegenden Ge-

---

1 Vergl. E. G. FISCHER Lehrbuch der mechan. Naturlehre. Berl. 1827. S. 247.

Digitized by Google

genden auf einer festen Grundlage herabflieſst und sich irgendwo durch eine dünnere Sandschicht einen Weg bahnt. Auf diese Weise entstehn mitten in unermeſslichen Sandwüsten die sogenannten *Oasen*[1] oder diejenigen Plätze, hauptsächlich in Africa, wo das feste Gestein, meistens der Granit, so hoch liegt, daſs das aus der Nähe oder Ferne unterirdisch herbeiflieſsende Wasser der Hydrometeore sich daselbst ansammelt, zu Tage hervorquillt und in der Regel einen Bach bildet, welcher häufig nicht weit von seinem Ursprunge wieder im Sande versiegt.

Besteht der Boden ganz oder vorzugsweise aus Kalk, so wird seine Oberfläche durch den Einfluſs der Sonnenhitze leicht fest, ein groſser Theil des auffallenden meteorischen Wassers läuft daher ab und sammelt sich in den Niederungen zu Bächen und Flüssen, ein andrer Theil dringt nach vorgängiger Erweichung ein und dient dann theils zur Ernährung der Pflanzen, theils verdunstet er, theils bildet er Quellen und Brunnen in gröſserer oder geringerer Tiefe. Stark zerklüfteter, mit zahlreichen Spalten versehener und aus kleinern Stücken bestehender Sand- oder insbesondere Kalkstein läſst jedoch das Wasser leicht durch und verhindert daher das Entstehn der Quellen, weswegen man an Orten, wo solche Lager sehr mächtig sind, wie in einigen Gegenden Baierns, Brunnen von schwer erreichbarer Tiefe graben müſste, so daſs die Anlegung von Cisternen dadurch nothwendig wird. Thonhaltiger Boden hält das auf ihn fallende und nach dem Verhältnisse seiner Lockerheit tiefer eindringende Wasser am stärksten zurück, feste Lager von reinem Thon oder Letten lassen dasselbe gar nicht eindringen, vielmehr sammelt es sich auf denselben an, flieſst nach den niedrigern Orten zusammen und bildet daselbst Quellen.

Im Allgemeinen dringt nach den Untersuchungen, hauptsächlich von Dalton[2], eine unglaubliche Menge von Wasser in die lockere Erde ein, welche bloſs dazu verwandt wird, sie gehörig anzufeuchten. Aus seinen Versuchen ergab sich, daſs künstlich ausgetrocknete sogenannte Gartenerde 7 Z. hoch

---

1 Vergl. Art. *Erde.* Bd. III. S. 1135.

2 Manchester Memoirs. T. V. P. II. p. 346. Daraus in G. XV. 272.

Digitized by Google

Wasser bedurfte, um bis zur Tiefe von 1 Fuſs vollständig gesättigt zu werden, und mittelmäſsig feuchte 1 Z., wenn die Sättigung bis zu dieser Tiefe gelangen sollte. Wenn man daher die Stärke der Verdunstung als schwer bestimmbar gar nicht berücksichtigt, so ergiebt sich hieraus allein schon, daſs das hauptsächlich in ebenen Gegenden auf Aecker, Gärten und Wiesen fallende Wasser theils für sich, theils durch die Gewächse wieder verdunstet. Es können also an solchen Orten, wenn nicht Flüsse oder belaubte Hügel und Wälder in der Nähe sind, keine zu Tage gehende Quellen gebildet werden, in gegrabenen Brunnen sammelt sich jedoch leicht das erforderliche Wasser, jedoch versiegen auch diese bei starker und anhaltender Dürre, zum Beweise der Richtigkeit des von Mariotte bereits aufgestellten Satzes, daſs die Quellen ihren Ursprung in der Regel bloſs den Hydrometeoren verdanken. Bestände hiernach die Oberfläche der Erde bloſs aus Acker-, Garten- und Wiesenland, wobei noch obendrein keine hohen und steilen Berge möglich seyn würden, dann hätten wir auf jeden Fall keine Ströme, sondern höchstens nur kleine Flüsse. Ausgedehnte Waldstrecken wirken dagegen auf eine eigenthümliche Weise auf die Dämpfe und Dünste in der Luft, indem sie fortdauernd im Sommer eine niedrigere Temperatur haben, den directen Einfluſs der Sonnenstrahlen auf den befeuchteten Boden hindern, dadurch die atmosphärischen Niederschläge vermehren, die Verdunstung dagegen vermindern, das aus dem im Winter gefallenen Schnee gebildete Wasser stärker zurückhalten und durch diese vereinten Ursachen die Bildung der in den Niederungen langsam flieſsenden Flüsse und Ströme bedingen, die in Uebereinstimmung hiermit im Sommer und Herbste am seichtesten, im Frühlinge dagegen am tiefsten sind. Ungleich stärker wirken die angegebenen Ursachen bei waldigen Bergen, und um so mehr, je höher sie sind, so daſs auch selbst steile und nackte Bergspitzen, wenn sie nur die gehörige Höhe haben, eine unglaubliche Menge Wasser liefern. Diese ziehn nicht bloſs wegen ihrer gröſsern Kälte die Dämpfe aus der Atmosphäre an, sondern sind fast unausgesetzt in Wolken eingehüllt, wodurch die auf ihnen befindlichen Pflanzen, insbesondere Kryptogamen, stets naſs erhalten werden, wenn sie aber über die Grenze der Vegetation hinausreichen, fast täglich frischgefallener Schnee sie be-

Digitized by Google

deckt. Letzteres iſt namentlich bei den Alpenſpitzen der Fall, aber auch bei minder hohen Gebirgsketten, den Sudeten, dem Brocken und den Schwarzwaldgebirgen macht man häufig bei regneriſchem Wetter die Erfahrung, daſs die Menge des Regens zunimmt, je tiefer man in die Gebirge eindringt. Bewaldete Hügel und niedrigere Bergketten geben daher die anhaltenden und reichen Quellen[1], die ſo viel zahlreicher ſind, je höher die primitiven Felsarten in ihnen emporſteigen, weil dann das eindringende Waſſer der Hydrometeore bald zu einer undurchdringlichen Unterlage gelangt, auf welcher es ſeitwärts abzuflieſsen genöthigt wird. Die Hochgebirge aber, namentlich in Europa die Alpen, geben den groſsen Strömen, der Rhone, dem Rhein, dem Po, der Etſch und den zahlreichen Flüſſen, denen die mächtige Donau ihren Waſſerreichthum verdankt, den Urſprung, die eben deswegen ihren höchtſen Stand im Sommer durch den vielen ſchmelzenden Schnee erhalten[2]. Es läſst ſich gegen dieſen zuletzt genannten Urſprung der Quellen auf keine Weiſe das Argument geltend machen, was Mariotte keineswegs genügend widerlegt, nämlich daſs ſie im Winter wegen des Schnees und Eiſes verſiegen müſsten, denn das Eis der Eisberge und Gletſcher thaut auch in den kälteſten Jahreszeiten durch die bleibende Wärme des darunter befindlichen Bodens auf und der Schnee der Spitzen rollt und gleitet fortwährend in die Tiefe herab. Es unterliegt demnach keinem Zweifel, daſs die durch Mariotte aufgeſtellte Hypotheſe über den Urſprung der Quellen im Ganzen die richtigſte ſey[3].

Daſs durch Capillarität überall keine Quellen entſtehn, läſst ſich nach der geringen Höhe, bis zu welcher das Waſſer in geballter Erde aufgeſogen wird, mit Beſtimmtheit annehmen[4].

---

1 Der Einfluſs der Waldungen auf die Quellen zeigt ſich unter andern ſehr auffallend, namentlich in Heilbronn, wo der reichlich flieſsende Kirchbrunnen bedeutend abnimmt, wenn diejenige Gegend abgeholzt wird, aus welcher dieſe Quelle nach anderweitigen entſcheidenden Gründen herkommt. S. v. Bruckmann über Artes. Brunnen. S. 355.

2 Vergl. *Regen, Menge deſſelben.*

3 Vergl. Bergmann phyſ. Erdbeſchreibung. §. 70. Otto in G. XII. 614.

4 Gehler im Art. *Quelle* Bd. III. S. 611. berechnet, daſs in ei-

Digitized by Google

Dagegen ist wohl erwieſen, daſs einige Quellen als ſeltene Ausnahmen dem in unterirdiſchen Räumen gebildeten, in kälteren Wölbungen niedergeſchlagenen Waſſerdampfe ihren Urſprung verdanken, ein Proceſs, welcher hauptſächlich in vulcaniſchen Gegenden ſtatt findet. So fand Dolomieu auf der Inſel Pentellaria in einem Gebirge eine Grotte, aus deren Boden ein feuchter Dunſt drang, welcher ſich an der Wölbung verdichtete und eine perennirende Quelle bildete. Auf Stromboli befindet ſich in einem aus Schlacken und vulcaniſcher Aſche gebildeten Hügel eine Quelle, die friſches, trinkbares Waſſer liefert und auch dann nicht verſiegt, wenn eine andre, tiefer am Fuſse des Bergs liegende, vertrocknet, welches jährlich wenigſtens einmal erfolgt. Die unfruchtbare Wölbung des Hügels kann jene Quelle nicht aus dem Waſſer der Hydrometeore erzeugen, und man muſs daher annehmen, daſs ſie aus den von innen aufſteigenden Dämpfen gebildet werde. Auch auf dem Berge Calogero auf Sicilien, Pentellaria gegenüber, ſteigen Dämpfe aus einer Höhle empor, verdichten ſich zu Tropfen und bilden eine perennirende Quelle[1].

Die hier mitgetheilte, auf genügende Gründe geſtützte, Theorie der Quellen ſteht mit den zahlreichſten unzweideutigen Naturerſcheinungen in ſo innigem Zuſammenhange, daſs die Naturforſcher der neueſten Zeit insgeſammt Anhänger derſelben ſind. Als Autoritäten wird es daher genügen, nur noch etwa zwei zu nennen, nämlich Cüvier[2] und Berzelius[3]. Erſterer äuſsert ſich nur im Allgemeinen, aber ſehr beſtimmt, hierüber, indem er ſagt, daſs in Beziehung auf den Urſprung der Quellen und Flüſſe nichts zu wünſchen übrig bleibe, da es bewieſen ſey, daſs der Regen und die übrigen Hydrometeore

---

nem Haarröhrchen von 0,06 Z. Durchmeſſer das Waſſer 0,61 Z. hoch aufſteigt, folglich für die 1857 F. hohe Quelle des Tafelbergs Haarröhrchen von weniger als einem halben Millionſtel Z. Durchmeſſer erforderlich ſeyn würden. Allein in ſo engen Räumen ſteigt das Waſſer überall nicht, indem das ſtarke Zuſammenpreſſen der Körper das Eindringen deſſelben verhindert.

1 Dolomieu Reiſen nach den Lipar. Inſeln. Ueberſ. von Lichtenberg. Leipz. 1783. S. 156. Ferrara Campi Flegrei. p. 43.

2 Geſchichte der Fortſchritte der Naturwiſſenſchaften. Ueb. von Wieſe. Bd. I. S. 131.

3 Lehrbuch der Chemie. Bd. I. S. 403.

die einzigen Urſachen derſelben ſind; Letzterer dagegen beſchreibt den ganzen Proceſs der Quellenbildung den weſentlichſten Theilen nach, ohne jedoch den eigentlichen Grund der fortdauernden gröſsern Kälte hoher Bergſpitzen als Hauptbedingung der reichlichen Niederſchläge auf denſelben genügend nachzuweiſen, wovon die Thatſache zwar unwiderſprechlich begründet iſt, die eigentliche phyſikaliſche Erklärung aber noch vielen Schwierigkeiten unterliegt.

Dennoch haben ſich in der neueſten Zeit einige wenige Gelehrte gegen dieſe Theorie vom Urſprunge der Quellen erklärt, indem ſie es vorziehn, denſelben lieber von unbekannten Kräften abzuleiten, obgleich die Phyſik erſt ſeit der Verbannung ſolcher verborgener Kräfte und der Einführung einer einfachen geometriſchen Erklärungsart der Phänomene ihre bedeutendſten Fortſchritte gemacht hat. Meiſtens ſtützen jene ſich hierbei auf die Autorität Keppler's[1], nach deſſen Anſicht die Erde als ein groſses Thier das Meerwaſſer einſaugen, dann im Innern weiter verbreiten und daraus das Grundwaſſer als Urſache der Quellen bereiten ſoll. Allein ſo ſcharfſinnig Keppler war, ſo zeigt ſich bei ihm doch auch der Einfluſs der damals herrſchenden Vorurtheile, namentlich in ſeinem Glauben an Zauberei, ebenſo wie ſein groſser Zeitgenoſſe Galilei ſich aus gleichem Grunde von der Annahme eines *horror vacui* nicht losmachen konnte. Auſserdem aber lag das Urtheil über die vorliegende Frage gänzlich auſser dem Kreiſe der Forſchungen Keppler's, woraus dann auch das Grobe und Unbeholfene ſeiner ganzen Hypotheſe erklärlich wird, von der man ſpäter jedoch mit Unrecht bloſs den Satz, daſs der Erde eine Art animaliſchen Lebens zukomme, beizubehalten ſuchte, ſo treffend auch die Alten die Abweſenheit einer eigentlichen Vitalität durch den Ausdruck *bruta tellus* bezeichneten.

Schon am Schluſſe des vorigen Jahrhunderts trat J. K. P. Grimm[2] gegen Otto auf und erklärte nach den Grundſätzen der damals neuen antiphlogiſtiſchen Chemie die Entſtehung des Grundwaſſers, woraus die Quellen geſpeiſt würden, aus einer langſamen Verbrennung des Waſſerſtoffgas durch Sauer-

---

1 Harmonices Mundi Lib. quinque. Lincii 1619. fol. Lib. III.
2 G. II. 336.

Digitized by Google

stoffgas. Abgerechnet aber daſs wir eine solche Wasserbildung nicht anders als mit einer Explosion verbunden kennen, wäre es doch rein unmöglich, den Ursprung der in den Alpen entspringenden Quellen, die wir ohnehin aus dem Eise, Schnee und Regen sichtbar entstehn sehn, aus dieser Ursache abzuleiten. Was aber dort im unermeſslich Groſsen geschieht, nehmen wir bei kleinern Bergzügen bis zu Hügeln und eng begrenzten Wäldern herab in so viel geringerem Maſse wahr, als die Ursachen sich mehr vermindern, statt daſs nach jener Hypothese gar nicht abzusehn wäre, warum die Ebenen nicht gleich reichhaltige Quellen bilden sollten, als die Berge [1].

Keppler's aus zu kühnem Phantasiespiele entstandene Hypothese, wonach der Erde Organismus und Lebensthätigkeit beigelegt werden, findet man durch Lulofs [2] aufgenommen, und auch neuerdings hat sie bei einigen Naturphilosophen Beifall gefunden, unter denen Keferstein [3] wohl als ihr eifrigster Vertheidiger zu nennen ist, welcher sich dabei auf Patrin [4], Bertrand [5], Ebel [6], Voigt [7], Schelling und andere als Anhänger der nämlichen Theorie beruft. Man darf sich indeſs in den physikalischen Forschungen nicht durch Autoritäten blenden lassen, wie berühmt auch die Namen derselben seyn mögen, so lange deutliche Thatsachen zur Auffindung der Wahrheit vorhanden sind. Merkwürdig ist es aber, daſs diejenigen, die so gern zu höhern verborgenen Kräften ihre Zuflucht nehmen, die auffallendsten und unverkennbarsten Erscheinungen in Abrede stellen. Unter den Gründen, welche Keferstein der gangbaren Theorie vom Ursprunge der Quellen entgegenstellt, sind folgende drei die wichtigsten. Zuerst soll noch durch keinen directen Versuch nachgewiesen worden seyn, daſs die atmosphärischen Wasser tiefer als einige Fuſs in die

1 Vergl. Otto in G. XII. 614.

2 Einleitung zur math. und physik. Kenntniſs d. Erdkugel. Aus d. Holl. übers. durch Kaestner. Leipz. 1755. 4. S. 295.

3 Versuch einer neuen Theorie der Quellen und insbesondere der Salzquellen. In dessen: Teutschland geognostisch-geologisch dargestellt. Bd. V. Hft. 1 ff.

4 Journ. de Phys. LX. 306.

5 Ebend. 1806. p. 31.

6 Ueber d. Organisation und das eigenthümliche Leben des Erdkörpers.

7 Grundzüge einer Naturgeschichte. Jena 1817.

Digitized by Google

Erde dringen, dagegen die wenigen angeſtellten und die allgemeine Erfahrung lehren, daſs ein ſolches Eindringen nur bis zu geringer Tiefe ſtatt ſinde. Hierauf iſt indeſs zu erwiedern, daſs die hier erwähnten Verſuche bereits oben gewürdigt worden ſind, rückſichtlich der Erfahrung im Allgemeinen aber lehrt dieſe gerade das Gegentheil. Das unaufhörlich in Höhlen und Bergwerken herabtröpfelnde Waſſer, deſſen Menge dem Reichthume der Hydrometeore ſtets proportional iſt, namentlich in der Höhle bei Scelicze in Ungarn während des Winters einen perennirenden Bach bildet, im Sommer aber eine unglaubliche Menge von Eis erzeugt [1], die Bildung des Tropfſteins, welcher nur dann gefärbt iſt, wenn das von der Erdoberfläche herabſinkende Waſſer die dazu erforderlichen Theile, namentlich den ſchwärzenden Kohlenſtoff, aus zerſetzten organiſchen Körpern der obern Kruſte mitbringt [2], und die Quellen, die nach ſtarkem Regen ſtark ſprudelnd, z. B. im Zirknitzer See, ſichtbar hervorbrechen, ſind gewiſs genugſam deutlich ſprechende Thatſachen, die keinem Geognoſten unbekannt ſeyn können. Ein zweiter Einwurf beſagt, daſs in der Erde keine unterirdiſchen Waſſerbehälter exiſtiren ſollen, von denen man den conſtanten Abfluſs der Quellen ableiten könnte; allein bei der Aufſtellung dieſes Arguments muſs man doch geradezu die zahlreichen Erfahrungen von den übergroſsen Waſſerſammlungen in den Höhlen, namentlich in der Adelsberger, und von den aus ihr ſtrömenden Bächen aus dem Gedächtniſſe zahlloſer Beobachter verſchwunden glauben. Endlich wird auch die Exiſtenz der heberartigen röhrenartigen Räume in Abrede geſtellt, durch welche das Aufſpringen der Quellen bedingt werden ſoll. Wenn man ſolche Canäle verlangt, die genau wie unſere Heber gebogen ſeyn ſollen, ſo dürfte es allerdings ſchwer halten, dieſe aufzufinden, denn ſo einfach auch einige intermittirende Brunnen hieraus erklärbar ſind, ſo hat man doch bis jetzt noch bei keinem der letztern ſolche Heber wirklich aufgefunden; allein Canäle, die bald aufſteigend, bald niedergehend und gebogen wie communicirende Röhren manche Phänomene der Quellen eben ſo einfach als genügend erklären, ſind beim Nachgraben der

---

1 Windisch Geographie von Ungarn. Presburg 1780.

2 Parrot theoretiſche Phyſik. Th. III. S. 89.

Quellen oft genug wahrgenommen worden, um diese ohnehin wahrscheinliche Thatsache sattsam zu beweisen.

Keferstein huldigt diesemnach einer andern Theorie, welche der Erde ein organisches Leben und ein hierdurch bedingtes Athmen beilegt, in Folge dessen atmosphärische Luft eingesogen, mephitische dagegen ausgestoſsen und aus dem Sauerstoffgas der Atmosphäre das Wasser der Quellen gebildet werden soll. Dieses ist eine Hypothese, die billig erst bewiesen oder mindestens durch Gründe unterstützt werden sollte; denn es genügt nicht zu fordern, daſs dieselbe widerlegt werden möge. Inzwischen finde ich keinen andern Beweis angeführt, auſser den, daſs die Erde mephitische Gasarten ausstöſst, woraus dann das Athmen derselben und die Wasserbildung in ihrem Innern gefolgert wird. Allein so gewiſs es auch ist, daſs einige mineralische Quellen, die Vulcane und manche Höhlen eine groſse Menge mephitischer Gasarten ausstoſsen, so ist damit dieser Exhalationsproceſs über die ganze Erdoberfläche, namentlich über die weiten Ebenen, noch keineswegs erwiesen, und wenn man auch die gesammte Menge der ausgestoſsenen Gase nach ungefährem Ueberschlage vereinigt dächte, so würde das dieser zugehörige Sauerstoffgas nach achthundertmaliger Verdichtung noch nicht hinreichen, um das Wasser nur eines einzigen Stroms, z. B. des Rheins, des Po oder gar der Donau zu liefern, nicht zu gedenken, daſs der Ursprung des zur Wasserbildung erforderlichen Hydrogengas, dessen Menge dem Volumen nach doppelt so groſs seyn müſste, nicht nur nicht nachgewiesen, sondern selbst die Nothwendigkeit und Möglichkeit von dessen Existenz mit keinem Worte nur erwähnt wird. Wie oft daher auch wiederholt werden mag, daſs die Erde mephitische Gasarten ausstoſse und daſs solche sich in manchen Bestandtheilen ihrer äuſsern Kruste befinden, gleichsam als wollte man hierdurch die Aufmerksamkeit von der eigentlichen Schwierigkeit der Aufgabe ablenken, so ist damit die Hypothese noch nicht einmal zum vierten Theile begründet, indem die eine Hälfte der zur Wasserbildung erforderlichen Substanzen gar nicht berücksichtigt und über die andere keine Bestimmung des Quantitativen beigebracht wird. Ganz anders verfuhr Mariotte, indem er zur Unterstützung seiner Hypothese eine Berechnung der Wassermenge, die durch die Hydrometeore gegeben wird und die

Digitized by Google

durch die Flüsse dem Meere wieder zuströmt, nach den Ergebnissen wirklicher Messungen anstellte, deren Resultate durch Keferstein zwar bezweifelt, aber keineswegs widerlegt werden.

Inzwischen ist die beliebte Athmungshypothese nicht bloſs durchaus unbegründet, sondern selbst in sich ganz unhaltbar. Zuvörderst zeigt sich die Erde bestimmt als ein unorganischer Körper, schon in ihrer Form, die erweislich aus einem frühern Flüssigkeitszustande unter dem Einflusse der Schwungkraft entstanden und beiden gemeinsam wirkenden Bedingungen durchaus angemessen ist. Die vorherrschende Krystallisation der ältern Felsarten und die Lagerungsverhältnisse der jüngern Formationen zeigen unwidersprechlich die Abwesenheit jeder organischen Thätigkeit und die vorherrschende Wirksamkeit rein physischer Kräfte. Noch ist nirgends in der Erde auch nur ein einziges Organ aufgefunden worden, dessen Functionen über die mechanischen und chemischen Wirkungen hinausgehn, wie z. B. der Kreislauf der Säfte in den Pflanzen sich nicht auf Capillarität zurückführen läſst. Zweitens aber finden wir den Athmungsproceſs bloſs bei den höhern organischen Wesen, den Animalien; denn obgleich auch die Vegetabilien Gasarten aufsaugen und andere dagegen ausstoſsen, so kann doch dieses nur figürlich ein Athmen genannt werden, und bei unorganischen Körpern würde es zuletzt zu einer lächerlichen Wortverdrehung führen, wenn man jedes Aufnehmen und Ausstoſsen einer Gasart durch den Ausdruck *Athmen* bezeichnen wollte. Drittens endlich ist es eine seltsame Verwirrung der Begriffe, die Wasserbildung als eine unmittelbare Folge des Athmens zu betrachten. Keferstein sagt zwar: die organischen Wesen verzehren Sauerstoffgas und hauchen dagegen mephitische Gasarten und *Wasserdämpfe* aus, und eben so findet bei der Erde die Aufnahme des Sauerstoffgas, das Aushauchen mephitischer Gasarten und Wasserbildung statt, so daſs wir hiernach die Quellen als das Resultat eines Athmungsprocesses betrachten können; allein ist denn bei organischen Körpern das Wasser ein Product des Athmens? Keineswegs, vielmehr wird bloſs bereits vorhandenes in Dampfgestalt frei und müſste daher auch in der Erde schon vorhanden seyn, bei welcher Voraussetzung es dann keines Athmungsprocesses bedarf, um das Hervorbrechen desselben in den Quellen zu erklären.

Digitized by Google

Als Anhänger und Erweiterer seiner Hypothese nennt Keferstein namentlich Meinecke[1], Müller[2] und Spindler[3], welcher sogar dem Erdorganismus eine freithätige, mit dem Monde in Polarität begriffene Handlungsweise beilegt und die Quellen als Absonderungen durch Secretionsorgane betrachtet, die sich die Erde bei ihrem beginnenden Leben selbst gebildet hat, wonach also (vermuthlich in Folge von Polarität) ihre Willensthätigkeit schon vor der Ausbildung ihrer Organe existirt hat. Berzelius bemerkt hierbei etwas naiv, daſs die Erde hiernach mit vielen Nieren versehn seyn müsse. Indeſs wird man keine nähere Prüfung solcher Hypothesen hier erwarten.

Mangelhafte und irrige Ansichten vom Wesen und Ursprunge der Quellen erzeugten noch in neuester Zeit das seltsame Vorurtheil, daſs die groſse Wassermenge bei den merkwürdigen Ueberschwemmungen am Ende des Jahrs 1824 durch Erdbeben und vulcanische Kräfte aus der Erde gekommen sey, und weil es den willkürlichen Hypothesen nicht leicht an beweisenden Erfahrungen fehlt, so sollten an manchen Orten nicht bloſs Erschütterungen mit Getöse verbunden wahrgenommen, sondern auch reichliche Ergieſsungen des Wassers aus der Erde beobachtet worden seyn[4]. Das vermeintliche Getöse wurde bald auf das Toben des Sturms und das Rauschen der Wasserfluthen zurückgebracht, das Hervorbrechen des Wassers an manchen Orten, wo dieses sonst nicht zu geschehn pflegt, lieſs sich aber aus der Menge des gefallenen Regens nur allzuleicht erklären, da es eine Menge von Quellen giebt, die bloſs in nassen Zeiten Wasser haben, in trocknen aber versiegen. Allerdings werden in seltnen Fällen bei vulcanischen Ausbrüchen groſse Wassermassen ausgeworfen, allein dieses

1 Schweigg. Journ. VIII. 194. IX. 395.

2 Keferstein a. a. O. S. 125.

3 Beschreibung der Heilquellen zu Bocklet. Würzburg 1818. S. 76.

4 Die groſsen Stürme und Ueberschwemmungen in Deutschland, England, Frankreich, Ruſsland u. a. Ländern Europa's im Jahr 1824. Leipz. 1824. 8. Die zu Munnequeborn in Friesland angeblich entstandene Quelle zeigte sich bei näherer Untersuchung als durchgedrungenes Wasser. S. Natuurkund. Verhandel. van de Hollands. Maetschapp. der Wetensch. te Haarlem. T. XIII. 307.

Digitized by Google

geſchieht bloſs an beſchränkten Orten und plötzlich, wenn nicht, wie meiſtens der Fall zu ſeyn pflegt, der durch Hitze geſchmolzene Schnee der Eiſgebirge die Fluthen erzeugt; daſs aber mehrere Tage anhaltend die Erde ſo viel Waſſer auswerfen ſollte, um die damaligen groſsen Ueberſchwemmungen zu erklären, ſteht mit hydroſtatiſchen Geſetzen im grellſten Widerſpruche. Auſserdem aber lieſs ſich leicht nachweiſen, daſs jene Waſſerfluthen ſich gerade an denjenigen Orten, wo durch Gewitter unglaubliche Regenmengen herabſtürzten, und ſtets als unmittelbar dieſen ſolgend zeigten, und Schübler [1] bewies auſserdem in Uebereinſtimmung mit den von mir ſelbſt [2] bekannt gemachten Angaben, daſs die Menge des herabgefallnen Regens mit der Gröſse der erzeugten Waſſerfluthen auffallend genau übereinſtimmte.

II. Oertlichkeit der Quellen.

Aus den Betrachtungen über den Urſprung der Quellen folgt, daſs es derſelben überall geben müſſe, ſobald man tief genug gräbt, denn man darf vorausſetzen, daſs von dem Waſſer der Hydrometeore allmälig ein Theil tiefer in die Erde dringt, durch feine Canäle an den tiefſten Stellen ſich anſammelt und zur Speiſung eines gegrabenen Brunnens dient. In der Regel wird man daher auch auf eine ſogenannte Waſſerader treffen, wenn man das Graben bis unter den Spiegel des Meers eines benachbarten Sees oder groſsen Fluſses fortſetzt. Oft trifft man jedoch ſchon früher auf Waſſer, welches nicht als eigentliches Quellwaſſer, d. h. auf die angegebne Weiſe aus den Hydrometeoren direct entſtandnes, zu betrachten iſt, ſondern aus den Flüſſen und Seen oder ſonſtigen ſtagnirenden Waſſern durch die lockere Erde dringt und daher den Salzgehalt des Meers, wenn es aus dieſem abſtammt, beibehält, oder durch die verſchiednen auflöslichen Subſtanzen der obern Erdkruſte und ſtagnirender Gewäſſer verunreinigt, folglich nicht als ein gutes, geſundes und angenehmes Quellwaſſer trinkbar iſt. Brunnen dieſer Art findet man häufig in weit ausgedehnten Ebenen, und das tiefere Graben zur Erlangung

1 Correſpondenzblatt des Würtemb. landwirthſchaftl. Vereins. 1825. VII. 191.

2 G. LXXIX. 129.

Digitized by Google

eines guten Quellwassers ist dann meistens fruchtlos, da solches wegen Hindernisse des Bodens nicht überall vorhanden seyn kann, auch macht der Andrang des reichlichen, in gröſserer Höhe angesammelten und eindringenden Wassers eine bedeutend tiefere Grabung unmöglich, wie dieses namentlich in solchen Ebenen der Fall ist, die bei weiter Ausdehnung sich nicht zu gröſserer Höhe über den Meeresspiegel erheben. Solche Brunnen liefern dann ein brakisches, unangenehmes Wasser, welches am besten durch künstliches Filtriren trinkbar gemacht wird[1]. Endlich hat man keine Hoffnung, Quellwasser zu finden, wenn man in die Urgebirgsarten eindringen muſs, denn obgleich es auch in diesen Quellen giebt, so sind sie doch selten, und die geringe Wahrscheinlichkeit, man darf sagen die bloſse Möglichkeit, sie aufzufinden, steht in gar keinem Verhältnisse zu dem kostspieligen Eindringen in jene harten Felsarten.

Nimmt man die Quellen im weitern Sinne des Worts, so lassen sich im Allgemeinen die *unterirdischen* von den *zu Tage ausgehenden* unterscheiden, wobei die in Höhlen, Flüsse, Seen und selbst das Meer mündenden den letztern beizuzählen sind, die erstern aber nur beim Graben der Brunnen oder dem Herabsenken der Schachte in Bergwerken zum Vorschein kommen. Die zu Tage ausgehenden Quellen finden sich bei weitem am zahlreichsten am Fuſse der Gebirge, in Bergschluchten und Thälern, vorzugsweise häufig da, wo über den hoch hinaufragenden Urgebirgen nicht sehr mächtige Lagen von Sandstein oder Kalksteinarten oder nur lockere Erdschichten sich befinden. Stark bewaldete, ausgedehnte, mit mäſsigen Vertiefungen wechselnde Berg- und Hügelgruppen erzeugen allezeit eine groſse Menge oder einzelne sehr reiche Quellen, weit seltener oder gar nicht findet man sie dagegen an den äuſsersten, in die Ebenen sich verlaufenden Abhängen der Hügel, insbesondere wenn diese wegen ihrer südlichen Lage den Winterschnee nicht lange behalten und wegen Abschüssigkeit ihrer Oberfläche das meteorische Wasser schnell abflieſsen lassen. Alles dieses steht mit dem angegebnen Ursprunge der Quellen so im Einklange und wird so häufig durch die zahlreichsten Erfahrungen bestätigt, daſs es keines weitern

---

1 Vergl. *Filtriren.* Bd. IV. S. 245.

Beweiſes oder ſpecieller Belege bedarf. Dabei hat man es am auffallendſten gefunden, daſs einige Quellen ſich in ſo beträchtlicher Höhe und, wie man zu ſagen pflegt, ſogar auf den Gipfeln der Berge befinden, woraus man ein gewichtiges Argument gegen die durch Mariotte aufgeſtellte Theorie hernehmen wollte. Derham[1] führt eine Quelle bei Upminſter als Beiſpiel an, die nicht mehr als etwa 100 F. über der Meeresfläche ihr reichliches Waſſer aus einem ungefähr 16 F. höhern Hügel erhalten müſſe. Am bekannteſten in dieſer Hinſicht iſt der *Hexenbrunnen*, eine reiche Quelle anſcheinend auf der Spitze des Brockens, welches jedoch nach genauerer Meſſung 18 F. unter dem Gipfel der flach gewölbten Kuppe dieſes Bergs liegt. Merkwürdig iſt es allerdings, daſs eine ſo wenig tief mündende Quelle aus einem nicht einmal bewaldeten Berggipfel entſpringt, perennirend flieſst und täglich 1440 Kub. Fuſs Waſſer liefert[2]; allein wenn man den Halbmeſſer der Fläche, die ſich oberhalb derſelben befindet, nur zu 500 F. annimmt und die Menge des jährlich darauf fallenden hydrometeoriſchen Waſſers 2 Fuſs hoch ſchätzt, dabei vorausſetzt, daſs der aus Granitſand beſtehende Boden alles dieſes bis auf den darunter gelagerten Granit herabſinken läſst, ſo könnte die Quelle täglich über 4000 Kub. F. liefern. Das Auffallende des Phänomens verſchwindet jedoch vollſtändig, wenn man berückſichtigt, wie früh im Jahre dort Schnee fällt und wie lange er ſich erhält, wenn man ferner in Anſchlag bringt, daſs eben dieſe Kuppe faſt beſtändig in Nebel gehüllt und von Wolken umlagert iſt, deren Dünſte die oben wachſenden Mooſe und Kräuter bis zur Anſammlung in ſtarke Tropfen benetzen. Kein Wunder alſo, daſs dieſe Quelle perennirend und meiſtens mit gleicher Stärke flieſst, ſo daſs es heiſst, ſie verſiege niemals; allein dieſes geſchieht zwar ſelten, aber doch zuweilen, wie namentlich im Sommer 1786 der Fall war[3]. Auf gleiche Weiſe laſſen ſich auch die ſonſtigen hoch liegenden Quellen leicht erklären.

Eine groſse Menge von Quellen ergieſsen ihr Waſſer nach

1 Phyſicotheol. L. II. cap. 5.

2 Otto Syſtem einer allgemeinen Hydrographie des Erdbodens. Berl. 1800. S. 72.

3 Mangourit Voyage en Hannovre. Par. 1805. p. 479.

einem kürzern oder längern Laufe über der Erdoberfläche in die nächsten Bäche, Flüsse oder Ströme, was durchaus nicht auffallend erscheinen kann, da die meisten Flüsse in den Thälern der Bergketten entspringen, dort die lockere Erde und das Gerölle bis auf das feste Gestein wegspülen, so daſs die von den angrenzenden Hügeln und Bergen herabflieſsenden Quellen, wenn sie die lockere Masse nicht bis zur gleichen Tiefe wegspülen, in jene hineinfallen müssen, wenn sie aber selbst bis auf das feste Gestein einsinken, ihr Wasser mit dem der Flüsse unter dem Spiegel der letztern mischen. Die Erscheinung ist der Natur der Sache nach eine sehr gewöhnliche, und man darf daher in bergigen und zugleich waldigen Gegenden an den Ufern der Flüsse nur suchen, um eine Menge solcher verborgener Quellen zu finden, deren wärmeres Wasser, wenn es reichhaltig ist, die Bildung des Eises im Winter hindert oder erschwert. Auf gleiche Weise haben fast alle Seen unterirdische Quellen, und einige verdanken diesen ihre Existenz, namentlich diejenigen, aus denen vieles Wasser abläuft, ohne einen sichtbaren Zufluſs. So wird unter andern der *Czirknitzer See* durch einige bekannte unterirdische Quellen gespeist, auch entdeckte Spallanzani[1] in dem salzigen See bei Spezzia eine so starke Quelle süſsen Wassers, daſs sich kein Boot über derselben halten konnte. Als er das seinige festbinden lieſs, fand er die Quelle in 38,5 Fuſs Tiefe auf und glaubte gewiſs zu seyn, daſs sie durch einen in der Nähe versiegenden Bach gebildet werde. Hiernach also kann es nicht mehr auffallend seyn, daſs selbst im Meere Quellen süſsen Wassers gefunden werden. So zeigt sich unter andern eine solche sehr reichhaltige nach de la Metherie[2] in der Nähe der Insel Cuba, auch fand v. Humboldt[3] an der Mündung des Rio Lagartos in der Gegend des Cap Catoche ungefähr 400 Meter vom Ufer stark sprudelnde Quellen süſsen Wassers mitten im Meere, die dort *boccas de Conil* genannt werden; überraschend ist aber die Nachricht von Buchanan[4], daſs er in der Bai von Chittagong, 125 engl. Meilen von die-

---

1 Journ. de Phys. 1786. Jul.
2 Tableau de la nature. T. II. p. 174.
3 Journ. de Phys. LXIX. 51.
4 Edinb. Phil. Journ. N. S. N. IV. p. 369.

Digitized by Google

sem Orte und 100 von Junderbunds, mitten im Meereswasser eine mit starker Bewegung sprudelnde und ihr Wasser weit verbreitende Quelle süſsen Wassers fand. Die Entdeckung wurde zufällig gemacht, als man neben dem Schiffe Wasser zum Waschen schöpfte und dieses trinkbar fand. Es zeigte eine etwas gelbliche Farbe und beschwerte diejenigen, die viel davon getrunken hatten. Im persischen Meerbusen bei der kleinen Insel Arad unfern der Stadt Monama sind in der See in einer Tiefe von ein bis zwei Faden zur Ebbezeit gegen 30 Quellen süſsen Wassers, welches die Araber auffangen, indem sie lederne Schläuche mit der Oeffnung über die Mündung der Quellen festhalten, die durch das empordringende Wasser alsbald gefüllt werden[1].

Die mit dem Namen der unterirdischen bezeichneten Quellen unterscheiden sich in keinem wesentlichen Stücke von denen, die zu Tage ausgehn, da ja ohnehin die letzteren vor ihrem Ausbruche in gröſserer oder geringerer Tiefe unter der Erdoberfläche aus dem zusammenflieſsenden atmosphärischen Wasser gebildet werden. Findet sich dann kein schicklicher Ort, wo eine undurchdringliche Schicht sie auf die Oberfläche führt, so rinnen sie unterirdisch weiter, oft auf beträchtlich lange Strecken, sinken mehrmals abwechselnd tiefer und steigen wieder in die Höhe, werden nicht selten zwischen zwei undurchdringliche Erd- oder Steinlager eingeschlossen und bahnen sich endlich an einer geeigneten Stelle einen Abfluſs. Solche unterirdische Quellen, die in unermeſslicher Menge überall verbreitet sind, wo sich in der Nähe bewaldete Hügel oder Berge befinden, die sich zur Erzeugung derselben eignen, sucht man beim Graben der Brunnen auf. Man gräbt dann in der Regel durch die Dammerde, den aufgeschütteten Boden, durch mehr oder weniger mächtige und ungleich häufige Lager von Erdarten, selbst mitunter von Steinen, bis man in gröſserer oder geringerer Tiefe auf eine Schicht von grobem Kiessande oder eigentlichem Gerölle stöſst, in welcher fast ohne Ausnahme Quellen gefunden werden, die sich durch das schnelle Emporsteigen eines klaren Wassers von den Ansammlungen des in naher Umgebung durch die obere Erdkruste

1 Edinb. Phil. Journ. N. S. N. XV. p. 140.

Digitized by Google

dringenden Waſſers unterſcheiden. Solche Quellen ſind reicher oder ärmer, ſteigen meiſtens nur bis zu einigen Fuſs in die Höhe, liegen an nahen Orten meiſtens in gleicher Tiefe, in der Nähe von Urgebirgsarten aber kann ihre Tiefe ſehr ungleich ſeyn und man darf an allen Orten, deren Umgebung der angegebnen Erzeugung von Quellen günſtig iſt, mit gröſster Wahrſcheinlichkeit darauf rechnen, ſie zu finden, ſobald man nur tief genug gräbt. Das bisher Geſagte iſt den Brunnengräbern aus der Erfahrung hinlänglich bekannt, und wenn es ſich darum handelt, in voraus zu beſtimmen, ob man Hoffnung habe, an irgend einem Orte ſolches Quellwaſſer zu finden, ſo müſſen hierüber die beiläufig erwähnten geognoſtiſchen und phyſikaliſchen Merkmale entſcheiden, ohne daſs es dazu der ehemals üblichen, aber durchaus nutzloſen, *magnetiſchen Waſſernadel* (Wünſchelruthe) bedarf, die Leupold[1] beſchreibt und wovon man im Anfange dieſes Jahrhunderts abermals Gebrauch machen wollte. Selten wird man, der groſsen Koſtbarkeit wegen, in Felſen eindringen, um Quellen zu ſuchen, es ſey denn, daſs ſolche Brunnen für Feſtungen unentbehrlich ſind. Es findet jedoch hinſichtlich der Felsarten in dieſer Beziehung ein bedeutender Unterſchied ſtatt. In die Urgebirge an ſich kann das Waſſer der Hydrometeore in der Regel nicht eindringen, allein auf ihren höchſten Spitzen, hauptſächlich auf den Wölbungen der Kuppen, ſind dieſe Felsarten meiſtens zerklüftet, es befinden ſich dort beträchtliche Riſſe, Spalten und Zwiſchenräume zwiſchen den einzelnen Blöcken, in denen das Waſſer herabſinkt und Quellen bildet, die man daher nicht ſelten findet, indeſs wird man der groſsen Koſten wegen bei allezeit vorhandener Ungewiſsheit eines günſtigen Erfolgs in ihnen keine Brunnen graben, wie groſs auch das Bedürfniſs, für eine Feſtung z. B., ſeyn möchte. In Uebergangsgebirgen ſind die Quellen ſchon zahlreicher, noch mehr aber in den Flötzgebirgen und überhaupt den jüngern Formationen, bis zum aufgeſchwemmten Lande, wo ſie wieder ſeltener werden. Sie ſind auſserdem am häufigſten in Kalkſteingebilden, finden ſich in dieſen und in Sandſteingebirgen ungleich tief und fehlen bei vorwaltenden äuſseren

1 Theatrum machinarum hydrotechnicarum. N. Aufl. Leipz. 1774. fol. p. 12.

günstigen Bedingungen nie an der Grenze dieser und der Urgebirgsarten[1].

In den neuern Zeiten hat man die Mühe des Grabens bis zu beträchtlichen Tiefen zu umgehn gesucht, statt dessen Bohrlöcher in die Erde eingetrieben, um aus diesen das Wasser auf eine leichtere Weise zu erhalten. Durch dieses Verfahren gelangt man zu den sogenannten Bohrbrunnen, aus denen man salziges oder süſses, selten mineralisches, Wasser fördert, weil die zu Mineralquellen geeigneten Orte sich nicht wohl vorher erkennen lassen, wenn nicht zu Tage ausgehende Mineralquellen darüber den thatsächlichen Beweis geben. Wenn man die asiatischen Bohrbrunnen abrechnet, so hat man in den übrigen Ländern erst in den neuern Zeiten angefangen, die Salzquellen durch Bohrversuche aufzufinden, was übrigens sehr günstige Resultate herbeigeführt hat, wie auch aus der Natur der Sache von selbst folgt, indem man das Bohrloch unmittelbar in den Salzstock herabsenken kann, dessen Vorhandenseyn sich aus geognostischen und sonstigen Anzeigen mit ziemlicher Sicherheit vorausbestimmen läſst. Erhält man demnächst die Salzsoole unmittelbar aus dem unterirdischen Salzlager, dessen Salz entweder durch bereits vorhandenes, oder im ungünstigern Falle durch von oben hineingelassenes Wasser aufgelöst ist, so ist dieselbe gesättigt und man bedarf des kostbaren Gradirens nicht. Werden statt dessen die Quellen süſsen Wassers mittelst des Bohrens aufgesucht, so müssen vorher die örtlichen Verhältnisse wohl berücksichtigt werden, um mindestens mit einiger den aufzuwendenden Kosten proportionalen Wahrscheinlichkeit auf ein günstiges Resultat rechnen zu können. Es ist um so nothwendiger, dieses nie zu vernachlässigen, da das Anlegen der sogenannten Bohr- oder artesischen Brunnen erst in den neuesten Zeiten allgemeiner in Anwendung gekommen ist und daher sowohl wegen des Reizes der Neuheit, als auch in Gemäſsheit der allerdings bereits erhaltnen höchst glänzenden Resultate leicht überschätzt wird, indem manche sogar der Meinung sind, man könne überall Quellen für artesische

1 Vergl. die zahlreichen Werke über die Anlegung artesischer Brunnen, wo dieser Gegenstand meistens mit zur Untersuchung kommt.

Digitized by Google

Brunnen finden und dürfe nur tief genug bohren, um sie zu erhalten[1].

Bei den Bohrbrunnen beabsichtigt man, eine unterirdische Quelle zu finden, wie diese eben beschrieben worden sind, und der Zweck ist daher kein anderer als derjenige, den man beim Graben der Brunnen zu erreichen wünscht, selbst das Verfahren ist dem Wesen nach dasselbe, jedoch sind die Kosten des Bohrens ungleich geringer als die des Grabens, hauptsächlich aber kann man durch das erstere Verfahren überall und viel leichter zu bedeutenden Tiefen gelangen, als durch das letztere. Es liegt z. B. nicht auſser dem Bereiche der Möglichkeit, bis zu mehr als 1000 F. Tiefe zu bohren und die so tief liegenden Quellen bis zur Oberfläche der Erde zu fördern, die Anlage eines so tief gegrabenen Brunnens würde aber fast unerschwingliche Kosten verursachen und könnte unter ungünstigen Umständen durch den Zudrang des von oben und seitwärts einsickernden Wassers und den Druck des lockern Erdreichs leicht ganz unmöglich werden. Obgleich man aber in Gemäſsheit der oben bereits angestellten Betrachtungen durch das Graben und Bohren leicht und mit gröſster Wahrscheinlichkeit überall zu einer Ansammlung von jenem sogenannten Tagewasser gelangt, so sind solche doch auf jeden Fall keine Quellen, die man durch Graben oder Bohren zu erreichen beabsichtigt. In jenem Falle ist es aber weit besser, Brunnen zu graben, als zu bohren, weil sich in den gröſsern Räumen mehr Wasser, welches der Natur der Sache nach in der Regel nicht tief zu suchen ist, ansammelt, womit man sich beim Mangel eigentlicher Quellen behelfen muſs, obgleich es schlechter ist und solche Brunnen bei anhaltender Dürre und weiter Entfernung von Seen oder Flüssen leicht versiegen. Hiernach ist also das Bohren der Brunnen in solchen Gegenden, in denen man eigentliche Quellen nicht erwarten kann, nicht bloſs unsicher, sondern auch ganz nutzlos. Letzteres ist z. B. der Fall in weiten Ebenen, in denen sich keine bewaldeten Hügel oder Wälder befinden; in solchen Gegenden, wo das Wasser der Hydrometeore durch die fruchtbare Erdkruste aufgesogen wird und zur Ernährung der Pflanzen dient oder verdunstet, insbesondere wenn die tiefern Erdschichten

1 Bibliothèque univ. T. XXXIX. p. 193. 204.

Digitized by Google

locker und sandig sind, in denen sich daher die von entfernten Hügeln herabfließsenden Quellen verlieren, ehe sie an den Ort gelangen können, wo man sie für Brunnen zu benutzen wünscht. Wem die Vorstellung vom Ursprunge und dem Verhalten der Quellen geläufig ist, der wird nach vorgängiger Untersuchung der geognostischen Beschaffenheit eines bestimmten Orts und seiner Umgebungen leicht entscheiden können, welche geringere oder gröſsere Wahrscheinlichkeit des Auffindens einer Quelle vorhanden ist [1]. Von der Unmöglichkeit oder, wenn man diese nicht zugestehn will, der höchsten Unwahrscheinlichkeit des Vorhandenseyns solcher sogenannter *lebendiger* Quellen in der Tiefe beginnt die geringere Wahrscheinlichkeit, sie zu finden, bis zur höchsten, nahe an Gewiſsheit grenzenden, wonach es dann zu beurtheilen ist, ob man überhaupt Bohrversuche anstellen und wie weit man sie im Falle des Miſslingens fortsetzen soll; denn es ist auf der andern Seite wiederum klar, daſs auch unter den günstigsten Bedingungen solche Quellen sich nicht an allen Puncten irgend eines gegebenen Orts vorfinden, weswegen es Beispiele giebt, daſs man an gewissen Stellen sie antrifft, an andern, selbst nicht viele Fuſs davon entfernten aber sie vergebens sucht. Auf gleiche Weise ist es sehr auffallend, daſs man an Orten, die nur wenige Schritte von einander abstehn, artesische Quellen findet, deren jede für sich zu bestehn scheint und aus denen das Wasser sogar ungleich hoch steigt, insbesondere wenn sie bis zu verschiedenen Tiefen gebohrt sind [2]. Hierüber lassen sich auſser allgemeinen, nach den Oertlichkeiten zu modificirenden, Regeln keine speciellen Vorschriften ertheilen.

Es ereignet sich bei den gegrabenen sowohl als auch den gebohrten Brunnen zuweilen, daſs das erreichte ächte Quellwasser hoch und selbst bis über die Oberfläche der Erde emporsteigt; am meisten ist dieses jedoch bei den gebohrten der Fall, indem sich bei den gegrabenen das wirklich aufsteigende Wasser sehr leicht in den obern, lockern Erdschichten ver-

1 Vergl. Hericart de Thury in Ann. des mines. T. VI. p. 321., welcher aus solchen Gründen folgerte, daſs bei Lyon keine artesischen Brunnen zu erwarten seyen.

2 Ebenders. in Annal. de l'Indust. T. II. p. 62.

Digitized by Google

liert, insbesondere wenn diese bedeutend mächtig und die aufgefundnen Quellen minder reich sind. Manche verstehn daher unter artesischen Brunnen bloſs solche, bei denen das in gröſserer Tiefe gefundene Quellwasser in Röhren aufsteigt und in der Erdoberfläche ausflieſst, allein dann müſste man zwischen artesischen und Bohrbrunnen einen Unterschied machen, da das Bohren der Brunnen vom Graben derselben nicht wesentlich verschieden ist und man also eben sowohl gebohrte als gegrabene Brunnen finden muſs, deren Wasser nicht bis zur Oberfläche der Erde aufsteigt. Allerdings hat es seine Richtigkeit, daſs man in Artois vermittelst des Bohrens häufig solche Quellen auffand, deren Wasser aus beträchtlicher Tiefe bis über die Oberfläche der Erde emporstieg, wovon auch der Name der *artesischen* Brunnen herrührt, allein man darf dennoch dieses Letztere nicht als eine nothwendige Bedingung bei den Bohrbrunnen ansehn. Obgleich also, von dieser Seite betrachtet, ein Unterschied zwischen den Bohrbrunnen und den artesischen anzunehmen wäre, so werden doch die Bohrversuche auf süſses Quellwasser fast allgemein nur in der Absicht unternommen, um dasselbe aus bedeutender Tiefe bis zu beträchtlicher Höhe, am besten über die Oberfläche der Erde aufsteigend zu erhalten, und da es auch bei den eigentlichen artesischen Brunnen nicht als nothwendige Bedingung angenommen wird, daſs in ihnen das Wasser bis über die Oberfläche der Erde aufsteigt, so darf man unbedenklich die artesischen mit den Bohrbrunnen als gleichbedeutend ansehn.

Die seit geraumer Zeit bekannten eigentlichen, jedoch früher nicht mit diesem speciellen Namen benannten, artesischen Brunnen verdanken ihren Ursprung gewissen eigenthümlichen örtlichen Verhältnissen, die zwar ausnehmend verschieden seyn können, im Ganzen aber sich auf folgende Weise anschaulich
Fig. 181. darstellen lassen. Wenn m das Ende einer Bergkette oder den Einschnitt eines Thals bezeichnet, worin Quellen enthalten sind, die sich in die muldenförmige Vertiefung cgd über einer für das Wasser undurchdringlichen Erd- oder Felsart verlieren, über welcher ein oder mehrere Lager verschiedener, für das Wasser gleichfalls undurchdringlicher Erd- und Felsarten gelagert sind, so wird sich in den Zwischenräumen eine Menge Wasser versammeln und an irgend einem entfernten

Orte entweder als Quelle zum Vorschein kommen, oder sich im lockern Erdreich verlieren. Angenommen n n sey eine horizontale Ebene, in welcher sich an irgend einem Orte der Ausgang dieser Wassersammlungen befindet, so ist klar, daſs aus jedem Bohrloche, welches unter dieser Ebene bis zur unterirdischen Quelle herabgesenkt wird, Wasser bis zur Höhe dieser Ebene, also über die unter derselben befindliche Erdoberfläche, aufſteigen wird.

Es ist dieses jedoch nur eine allgemeine und ungefähre Darstellung, aus welcher so viel hervorgeht, daſs die artesischen Brunnen jederzeit eine gewisse eigenthümliche Beschaffenheit der Erd- und Felslager voraussetzen, desgleichen daſs die aufgefundnen ächten Bohrquellen nicht allezeit nothwendig über die Erdoberfläche aufſteigen müssen, sondern oft auch mehr oder minder beträchtlich unter derselben zurückbleiben können. Die Unterlagen der artesischen Quellen können Urgebirgsarten, feste jüngere Felsarten und selbst wasserdichte Erdarten, als eisenschüssiger Mergel und Thon seyn, und es ist allezeit ein sichres Zeichen, daſs man auf keinen günstigen Erfolg mehr rechnen dürfe, wenn das Bohrloch bis auf Urgebirgsarten herabgesenkt ist, ohne eine Quelle zu erreichen, indem man in solcher zu bohren auf keine Weise fortfahren wird. Ueber den unterirdischen Wasserräumen sind mehrere, oft zahlreiche Schichten gelagert, die so viel gröſsere Hoffnung eines günstigen Erfolgs versprechen, je häufiger sich solche von Thon und Mergel unter ihnen befinden, denn jede derselben läſst nach dem Durchbohren eine Wasserquelle erwarten. In sehr vielen Fällen trifft man auch wiederholt auf minder reichhaltige Ansammlungen, setzt aber dennoch das Bohren zuweilen fort, um wo möglich reichere zu finden. Ein Beispiel zahlreich wechselnder Schichten, welches ich aus Bruckmann's Werke entlehne, giebt diejenigen an, die beim Bohren eines fast 200 F. tiefen Brunnens in Erlangen durchsetzt wurden, und kann zur Uebersicht des Ganzen dienen. Von oben nach unten folgten folgende Schichten auf einander: zuerst eine beträchtliche Lage Sand, dann fester Thonsand, grauer Sandstein und brauner Thon, hierauf wieder ein beträchtliches Lager grauer thonhaltiger Sandstein, brauner Thon, Sandstein, worunter die erste Quelle zum Vorschein kam, dann Dolomit, blauer Thon und wieder Dolomit, dann eisenschüssiger Mergel, blauer

Digitized by Google

Thon, grauer Sandstein, eine stärkere Schicht mergeliger Sandstein mit etwas Kalk, Quarz- und Dolomit-Conglomerat, wieder mergeliger Sandstein und Dolomit-Conglomerat, worunter die zweite Quelle sich zeigte, hierunter eisenschüssiger Mergel, sandhaltiger Kalk, grauer Sandstein, eisenschüssiger Mergel, Dolomit, abermals eisenschüssiger Mergel, blauer Thon und grauer Sandstein, unter welchem die dritte Quelle zum Vorschein kam; endlich eisenschüssiger Mergel, grauer Sandstein, blauer Thon, wieder grauer Sandstein, eisenschüssiger Mergel und zuletzt harter, quarziger Sandstein. Zwischen den beiden letzten Schichten fand sich die vierte Quelle, jedoch stieg keine von allen bis zur Erdoberfläche hinauf und das Wasser muſste daher in einem 30 F. tiefen Brunnen gesammelt werden.

Das technische Verfahren beim Bohren der artesischen Brunnen ausführlich mitzutheilen liegt auſser den Grenzen dieses Werks. Es wird daher genügen, bloſs im Allgemeinen zu bemerken, daſs man in das obere lockere Erdreich bis an eine festere Lage einen Schacht, einen gewöhnlichen Brunnen, zu graben und dann die verschiednen geeigneten Bohrer anzuwenden pflegt. Hat man bloſs festes Gestein oder harte Erdschichten zu durchbohren, so ist die Operation einfach, fällt aber die losere Masse von der Seite in das Bohrloch, so müssen Röhren eingebracht und im Fortgange der Operation fortwährend tiefer eingesenkt werden. Letzteres, was bei weitem die gröſsten Schwierigkeiten verursacht, geschieht dadurch, daſs man die Röhren vermittelst der Ramme stets tiefer hinabtreibt, oder daſs man in den höhern und weitern unten engere nachschiebt. Zu den Röhren nimmt man hölzerne, besser aber eiserne, die bei wachsender Tiefe durch ihr eignes Gewicht nachzusinken pflegen, und in denen später das Wasser aufsteigen kann, ohne sich wieder in den lockern Erdschichten zu verlieren.

Erst in den neuern Zeiten hat man die artesischen Brunnen vermittelst des Bohrers aufgesucht, früher dagegen pflegte man bloſs die obere Erdkruste zu durchgraben, bis man zu einer darunter liegenden Thonschicht gelangte, die man gleichfalls bis fast ans Ende durchgrub, worauf ein Rohr in die Oeffnung gesetzt und vermittelst desselben der Rest der Schicht durchstoſsen wurde, so daſs das unter derselben gespannte

Wasser oft mit bedeutender Gewalt hervordrang. In einigen Fällen durchgrub der Arbeiter die ganze Thonschicht, muſste dann aber eilen sich zu entfernen, um nicht durch die Menge des hervorbrechenden Wassers in Gefahr zu kommen. In Europa scheint man diese Art Brunnen zuerst in Italien kennen gelernt oder beachtet zu haben, Dominicus Cassini[1] brachte von dort ihre Kenntniſs mit nach Frankreich, erhielt zugleich die Nachricht, daſs es in Niederöstreich ähnliche gebe, machte selbst einen gelungnen Versuch, allein seine Mittheilung darüber wurde ebenso wie die ausführliche Beschreibung von Bernardino Ramazzini[2] wenig beachtet. Nach Cassini gräbt man in jener Gegend so tief, bis die Erde von dem unter ihr drückenden Wasser aufgeschwollen zu seyn scheint. Alsdann mauert man einen doppelten Schacht auf, dessen Zwischenraum mit gut durchknetetem Lehm ausgefüllt wird, bohrt dann tiefer, bis man die Quelle erreicht zu haben glaubt, und durchstöſst endlich die tiefsten Theile der Thonschicht mit einem langen Bohrer, nach dessen Herausziehn sich der ganze Brunnenschacht mit Wasser füllt, welches oft in groſser Menge ausströmt und die benachbarten Felder bewässert. Cassini glaubt, das Wasser komme in unterirdischen Canälen von den benachbarten Appenninen[3]. Er lieſs selbst im Fort Urban einen Brunnen bohren, aus welchem das Wasser frei bis 15 F. Höhe über der Erdoberfläche sprang, in Röhren aber zu einer weit beträchtlichern Höhe aufstieg.

Dieser ältern Nachrichten und Versuche ungeachtet kam diese leichte Methode der Auffindung von Quellen, die nicht selten bis zum Erstaunen reichhaltig sind, nicht zur praktischen Anwendung, bis man in den ersten Decennien dieses Jahrhunderts von dem Vorhandenseyn solcher Brunnen in der ehemaligen Grafschaft Artois Nachricht erhielt[4], die Sache

---

1 Mém. de l'Acad. T. I. p. 96.

2 De fontium mutinensium admiranda scaturigine tractatus physico-hydrostaticus. Mutinae 1691. 4. Ins Englische übers. Lond. 1697. Auch Genevae 1717. Ein Auszug in Act. Erud. 1692. p. 505.

3 Ueber die artesischen Brunnen in Italien s. Giacinto Carena Serbatoi artificiali d'acque cet. Giuntavi un' Appendice sui pozzi artesiani o saglienti. Torino 1829.

4 De la Metherie Theorie d. Erde II. 265. giebt an, von Laumont gehört zu haben, daſs in Artois mehrere Springquellen gegra-

näher untersuchte und ihre allgemeinere Anwendbarkeit erkannte, worauf dann nicht bloſs viele Anleitungen zur Anlage der hiernach benannten artesischen Brunnen erschienen, sondern auch eine groſse Menge in den verschiedensten Gegenden angelegt wurden, wobei sich denn von selbst verstand, daſs die Uebertreibung der durch ihre Neuheit interessanten Sache mehrere miſslungene Versuche herbeiführen muſste. Der erste, welcher eine ausführliche Beschreibung solcher Brunnen, des Verfahrens sie zu bohren und der hierzu erforderlichen Werkzeuge bekannt machte, war Garnier[1] in seiner 1821 von der *Société d'Encouragement* gekrönten Preisschrift, die nachher erweitert und vervollständigt das Ganze umfaſste[2]. Mehr theoretische Untersuchungen über den Ursprung und die Bedingungen des Entstehens der durch Bohrversuche aufzufindenden unterirdischen Quellen hat der Vicomte Hericart de Thury[3] mitgetheilt, auſserdem aber findet man Nachrichten über mehrere in Frankreich angelegte Bohrbrunnen in verschiednen Zeitschriften[4]. In England hat man seit geraumer Zeit schon Bohrbrunnen gekannt und dort die nämlichen Resultate erhalten, als in Frankreich[5]. Es giebt daher in London eigne Brunnenbohrmeister, die gegen ein gewisses, nach der Tiefe veränderliches, Aversum sowohl in der Umgebung der Stadt, als auch in den Provinzen die Herstellung der Bohr-

---

ben würden, ja daſs zu St. Venant ein bis 6 F. springender Brunnen aus etwa 200 F. Tiefe komme, welcher bereits 50 Jahre ohne Unterbrechung gelaufen habe.

1 De l'Art du Fontainier sondeur et des Puits artésiens. Par. 1821. Uebers. durch Waldauf v. Waldenstein. Wien 1824.

2 Traité sur les puits artésiens, ou sur les différentes espèces des Terrains, dans lesquels on doit rechercher des eaux souterraines. Ouvrage contenant la description des procédés qu'il faut employer pour ramener une partie de ces eaux à la surface du sol, à l'aide de la sonde du mineur ou du fontainier. Seconde éd. revue et augm. avec 25 pl. 4. Par. 1826. 16 Fr.

3 Considérations géologiques et physiques sur la cause du jaillissement des eaux des puits forés ou fontaines artificielles cet. Par. 1829. Vergl. denselben in Ann. des mines. T. VI. p. 321.

4 Unter andern Bulletin de la Société d'émulation pour l'Industrie nationale. 1822. Mars. Annales de l'Industrie. T. II. p. 58. u. a. a. O. Journal du génie civil des Sciences et des Arts. 1828. Oct. Poggendorff Ann. XVI. 592.

5 Edinb. Phil. Journ. N. S. N. XVII. p. 111.

Digitized by Google

brunnen übernehmen. In America ist die Industrie schon so weit vorgeschritten, daſs die Kunst des Brunnenbohrens dort gleichfalls bekannt werden muſste; sie scheint aber bereits seit geraumer Zeit in Anwendung gebracht worden zu seyn[1], und schon früher, als man in Frankreich wieder aufmerksam darauf wurde. Es scheint, als ob man dort zuerst die Salzlager durch Bohrung aufzufinden gesucht habe, später aber wandte man das Verfahren auch auf Quellen von süſsem Wasser an. Insbesondere sind etwa seit dem Jahre 1822 bis auf die neuesten Zeiten eine Menge artesische Brunnen in den verschiedensten Gegenden mit günstigem Erfolge gebohrt worden, wie namentlich Dickson[2] berichtet, dessen Theorie über den Ursprung der Quellen noch der Kindheit in der Wissenschaft angehört, indem er sie von einer Centrifugalkraft ableitet, die ehemals die Berge emporgetrieben habe und jetzt das aus dem Meere eingedrungene Wasser stets nach Auſsen schleudere.

In Deutschland, namentlich in Unterösterreich, hat man die Kunst des Brunnenbohrens in rohester Gestalt vielleicht am frühesten gekannt. Sie erregte die Aufmerksamkeit des Dominicus Cassini[3], als er bei seinen ausgedehnten geodätischen Messungen auch in diese Gegenden kam, und lange nachher beschrieb Belidor[4] das dabei übliche Verfahren. Nach seiner Angabe graben die Einwohner so lange, bis sie auf die Thonlage kommen, dann nehmen sie einen groſsen, etwa 6 Z. dicken Stein mit einem Loche in der Mitte und bohren durch letzteres die Thonlage durch, bis das Wasser mit Gewalt aufsteigt und den Brunnen füllt. Nach v. Jacquin[5], welcher am ausführlichsten hierüber Nachricht ertheilt, ist diese Methode des Bohrens, die man in Anwendung bringt, wenn das über der Thonschicht angesammelte Wasser nicht hinlänglich scheint und man die sogenannten Quell- oder lebendigen Brunnen verlangt, seit geraumer Zeit dort ausgeübt worden und die Zahl der letztern übersteigt in der Umgegend von Wien bei weitem

---

1 Darwin Travels through America. Lond. 1789.

2 An Essay on the art of boring the earth, for the obtainment of a spontaneous flow of water cet. New-Brunswick. 1826.

3 Hist. de l'Acad. T. I. p. 96.

4 Science des Ingenieurs. Par. 1734. Liv. IV. p. 82.

5 Wiener Zeitschrift. Bd. VIII. S. 257.

diejenige der bloſs flachern Brunnen. Mehrere Schriftsteller haben dieselben erwähnt, z. B. Popowitsch, welcher sie von einem ungeheuern, in dortiger Gegend befindlichen, durch die Schieferlager bedeckten Wasserbehälter ableitet, und Stütz[1], welcher diese Meinung widerlegt und der Höhe jener Orte zuwider annimmt, sie reichten bis unter den Spiegel des Meers. Scholz[2] beschreibt das Verfahren auf folgende Weise. Zuerst wird die 10 bis 12 Klafter dicke Lage Grus (Schotter) in der gewöhnlichen Weite der Brunnen ausgegraben, bis man auf die 10 bis 50 Klafter mächtige Thonlage (den blauen Tegel) kommt. Diese wird entblöſst und in der Mitte des Brunnens ein gewöhnliches Brunnenrohr fest eingeschlagen, durch dieses ein Bohrer eingesenkt und damit die ganze Thonlage durchbohrt, bis man auf die Steinplatte (erhärteten kieselhaltigen Mergel oder Sandstein) kommt. Ist diese vermittelst des Steinbohrers durchbohrt, so dringt das Wasser mit solcher Heftigkeit hervor, daſs die Arbeiter sich eiligst entfernen müssen. Das Brunnenrohr wird durch Aufsätze bis zur Oberfläche des Erdbodens verlängert und dann zuletzt ein Brunnenstock mit einem seitwärts gehenden Rohre aufgesetzt, aus welchem stets reichliches Wasser ausläuft. Diese Methode ist übrigens die neuere, zuerst durch einen Bäckermeister aus Flandern, der sich in Hetzendorf bei Wien niederlieſs, bekannt gewordene und durch den Zimmermeister Belghofer vielfach in Anwendung gebrachte, die also höchst wahrscheinlich aus Artois stammt. Früher pflegte man nämlich in dem Thonlager einen gewöhnlichen, 4 bis 6 F. weiten Brunnen von etlichen Fuſs Tiefe auszugraben, damit sich das aus dem Bohrloche aufsteigende Wasser darin ansammeln konnte, welches also nur dann bis zur Oberfläche des Bodens gelangte, wenn die Thonschichte so hoch heraufging. v. Jacquin[3] beschreibt 41 genau untersuchte solche Brunnen in und bei Wien, in denen insgesammt das Wasser über die Oberfläche der Erde

---

1 Mineralogisches Taschenbuch, herausgegeben von Megerle v. Mühlfeld. Wien 1807. S. 40.

2 Anfangsgründe d. Physik. 3te Aufl. Wien 1827. S. 638.

3 A. a. O. Eine spätere Schrift desselben Verf., nämlich: Die artesischen Brunnen in und um Wien. Vom Freiherrn v. Jacquin. Nebst geognostischen Bemerkungen über dieselben von P. Partsch. Wien, 1831. kenne ich nicht genauer.

aufſteigt, jedoch zeigt er zugleich an einigen belehrenden Beiſpielen, daſs auch dieſe Methode, wegen ihrer Mangelhaftigkeit, der neueſten, in eingeſenkten Röhren zu bohren, weit nachſteht und mitunter das Unternehmen gänzlich vereitelt, wie namentlich der Fall war, als die Thonſchicht in 336 F. Tiefe noch nicht endete, durch das Seihwaſſer aber der Thon und das zwiſchenliegende Sandlager zu groſsen Höhlen ausgewaſchen wurde und die hierdurch gebildete kothige Maſſe das Bohrloch ſtets wieder ausfüllte. Iſt dagegen das Thonlager nicht ſo beträchtlich tief und hat man die ebengenannten Schwierigkeiten nicht zu befürchten, ſo iſt jenes einfachere, durch Camilla[1] deutlich und vollſtändig beſchriebene Verfahren genügend, um mit geringern Koſten ſpringende arteſiſche Brunnen zu erhalten. Gegenwärtig iſt man indeſs auch dort mit den Erfahrungen der Ausländer und den von ihnen vorgeſchlagnen vielfachen Verbeſſerungen hinlänglich bekannt, um das für die jedesmaligen Fälle am beſten geeignete Verfahren zur Anlegung der ſo höchſt nützlichen arteſiſchen Brunnen in Anwendung zu bringen[2].

In den verſchiednen Ländern ſowohl des ſüdlichen als auch des nördlichen Deutſchlands hat man die aus Frankreich erhaltnen Mittheilungen über die arteſiſchen Brunnen mit groſser Begierde aufgefaſst und in ſehr vielen Fällen, zuweilen mit glänzendem Erfolge, in Anwendung gebracht. Es wurden nicht bloſs vielfältige Bohrverſuche unternommen, ſondern auch bis zu ſehr beträchtlichen Tiefen fortgeſetzt; daneben blieb man nicht bei der bloſsen Anwendung der mitgetheilten Verfahrungsart des Bohrens und der hierzu erforderlichen Werkzeuge ſtehn, ſondern man änderte dieſe vielfältig ab und gelangte hierdurch um ſo mehr zu Verbeſſerungen, je gebildeter und geübter diejenigen waren, die ſich mit dieſem Gegenſtande beſchäftigten. Das Einzelne hierüber ergiebt ſich vollſtändiger aus der bereits ſehr reichhaltigen vor-

1 Wiener Zeitſchrift. Bd. IX. S. 475.

2 Ueber die Anwendung des Bergbohrers zur Aufſuchung von Brunnenquellen u. ſ. w. F. Garnier's gekrönte Preisſchrift mit Zuſätzen von J. Waldauf v. Waldenstein. Wien 1824. Deſſelben: die neueſten Beobachtungen und Erfahrungen von Garnier, Hericart de Thury, Baillet, Omalius, Flachat, Beurrier, v. Bruckmann u. a. über die Anlage arteſiſcher Brunnen u. ſ. w. Wien 1831.

handenen Literatur, wobei nur noch zu bemerken ist, daſs insbesondere Boner in Münster, Spetzler in Lüneburg, Gugler in Nürnberg und vor allen andern v. Bruckmann in Heilbronn sich als Praktiker durch Anlegung von Bohrbrunnen ein bedeutendes Verdienst erworben haben[1].

Es ist merkwürdig, daſs man in minder cultivirten Welttheilen, als Europa, die artesischen oder Bohrbrunnen bereits seit so langer Zeit gekannt hat. So erfahren wir durch Shaw[2], daſs die Ortschaften von Wad-Reag in der Nähe von Algier, fern von Bergen und in einer ausgedehnten Ebene liegend, sich auf folgende eigenthümliche Weise Wasser verschaffen. Sie graben Brunnen von 100 bis 200 Klafter Tiefe, schaffen den Sand und die Kieselsteine, welche mehrere Lager bilden, auf die Seite und graben so tief, bis sie auf eine schieferige Lage kommen, unter welcher sich der Erfahrung nach Wasser befindet. Sie zerschlagen dann dieses nicht sehr feste Gestein, worauf das Wasser sofort mit solcher Heftigkeit hervorbricht, daſs die Arbeiter sich schnell entfernen müssen, wenn sie die drohende Lebensgefahr vermeiden wollen. Die berühmtesten und merkwürdigsten Bohrbrunnen giebt es aber in China, wo sie durch den Missionär Imbert beobachtet und wiewohl ohne Sachkenntniſs, dennoch ziemlich vollständig beschrieben wurden[3]. Sie heiſsen auch Feuerbrunnen, weil

---

1 Vollständiger Unterricht über die Anlage der Bohr- oder artesischen Brunnen u. s. w. von L. Boner. Münster 1830. 78 S. 8. Zweite Aufl. ebend. 1831.— Einige Worte über artesische Brunnen und deren Erbohrung u. s. w. Von K. W. Schimming. Halle 1831.— Die artesischen Brunnen, ihre Beschaffenheit u. s. w. Von J. H. M. Poppe. Tübing. 1831.— Die artesischen Brunnen. Ein Versuch von J. A. Blume. Dresd. 1831.— Anleitung zur Anlage artesischer Brunnen. Von J. A. Spetzler. Lübeck 1832.— Gründliche Anweisung des sichersten, einfachsten und wohlfeilsten Verfahrens beim Bohren von artesischen Brunnen. In Verbindung mit J. A. Gugler bearbeitet von J. Gambihler. Nürnb. 1832.— Vollständige Anleitung zur Anlage, Fertigung und neueren Nutzanwendung der gebohrten oder sogenannten artesischen Brunnen. Von J. A. v. Bruckmann und A. G. Bruckmann. Heilbronn 1833.

2 De la Metherie Theorie d. Erde. Th. II. S. 264.

3 Annales de l'Association de la propagation de la foi cet. Lyon 1829. Janv. Daraus entlehnt durch Hericart de Thury und übers. durch Bruckmann a. a. O. S. 320. Auch in v. Humboldt's Fragmenten

Digitized by Google

aus ihnen eine Menge Schwefelwasserstoffgas aufsteigt und zum Heizen der Salzpfannen benutzt wird. Es liegen nämlich im Kreise von Kia-ting-fu (unter 101°,5 östl. L. von Paris und 29°,5 N. B.) auf einer Strecke von etwa 10 franz. Meilen Länge und 5 Meilen Breite über 20000 solche gebohrte Salzbrunnen. Die begüterten Einwohner vereinigen sich und bohren sie mit einem Aufwande von 7 bis 8000 Francs. Sie haben gewöhnlich eine Tiefe von 1500 bis 1800 F. und eine Weite von nur 5 bis 6 Zoll, liegen aber insgesammt in Felsen. Zuerst wird in die 3 bis 4 Fuſs hohe Erdschicht eine hölzerne Röhre gesenkt und mit einem Steine bedeckt, welcher eine entsprechende Oeffnung von 5 bis 6 Z. hat. Alsdann läſst man einen 300 bis 400 ℔ schweren Felsbohrer, welcher kronenartig krenellirt, oben etwas ausgehöhlt und unten abgerundet ist, darin spielen; dieses geschieht dadurch, daſs ein leicht gekleideter Mann einen Hebel, woran der Bohrer hängt, niedertritt, und letzteren dann 2 Fuſs tief herabfallen läſst. Läuft kein Wasser von auſsen ein, so gieſst man von Zeit zu Zeit einen Eimer Wasser in das Loch, um die zermalmte Masse in einen Brei zu verwandeln. Der Felsbohrer selbst hängt an einem Rohrseile, welches zwar nur fingerdick, aber so stark ist, als unsere Darmsaiten; am Arme des Schaukelhebels, woran es geknüpft wird, befindet sich noch ein hölzernes Dreieck, welches bei jedem Hube des Bohrers von einem zweiten Arbeiter um eine halbe Wendung umgedreht wird, damit der Bohrer jedesmal anders auffalle. Vier Paare Arbeiter lösen sich am Morgen, Mittag, Abend und Mitternacht ab, und wenn man drei Zoll tief gebohrt hat, zieht man den Bohrer sammt der zermalmten Masse heraus, indem das Seil auf eine Walze gewickelt wird. In seltnen Fällen finden sich kleine Schichten von Erde oder Kohlen, und dann wird die Arbeit höchst schwierig, weil der Bohrer bei ungleichem Widerstande nicht senkrecht geht; zuweilen bricht auch der eiserne Ring des Bohrers und dann bedarf es 5 bis 6 Monate Zeit, um den alten Bohrer mit neuen Widderköpfen zu zermalmen[1]. Unter günstigen Umständen werden zwei

---

einer Geologie und Klimatologie Asiens. Uebers. von J. Löwenberg. S. 89.

1 v. Bruckmann a. a. O. S. 323. bezweifelt die Möglichkeit die-

Fuſs in 24 Stunden gebohrt, die ganze Arbeit erfordert aber wenigstens 3 Jahre. Das Salzwasser hebt man mit einem Bambusrohre, welches unten ein Ventil hat, sich durch Auf- und Niederstoſsen füllt und mittelst einer Walze durch Ochsen aufgezogen wird, aus der gebohrten Röhre.

III. Reichthum derselben.

Aus der Theorie vom Ursprunge der Quellen ergiebt sich, daſs sie eine ungleiche Menge von Wasser liefern müssen. Die sogenannten Seihquellen, in denen sich das auf ebene Felder und unbewaldete Gegenden fallende, nicht wieder verdunstende, sondern durch eine undurchdringliche Erdschicht zurückgehaltene, hydrometeorische Wasser sammelt, sind der Natur der Sache nach die ärmsten, und die durch sie gespeisten Brunnen werden daher durch fortgesetztes Schöpfen bald leer und versiegen bei anhaltender Dürre leicht gänzlich. Sind die örtlichen Verhältnisse zur Erzeugung der Quellen günstig, d. h. wenn die umgebenden Hügel und Berge belaubt sind oder so hoch, daſs sie durch ihre Kälte den Wasserdampf der atmosphärischen Luft in beträchtlicher Menge anziehn uud das aufgenommene Wasser leicht durch eine lockere, auf einer undurchdringlichen Unterlage ruhende Erdschicht niedersinken lassen, so ergiebt eine einfache Berechnung leicht die groſse Menge des auf diese Weise vereinten Wassers. Ist nämlich in einem solchen Falle nur eine Kreisfläche von beiläufig 500 Fuſs Halbmesser gegeben, so beträgt ihr Flächeninhalt fast 785400 Quadratfuſs und liefert also, die jährliche Regenhöhe nur zu 18 Zoll angenommen, in einem Jahre fast 1178100 Kubikfuſs Wasser, also täglich 3227 Kub. Fuſs, stündlich 134,48 Kub. F. oder, die Pinte (welche etwas mehr als 1 Liter beträgt) hoch zu 48 Kub. Z. angenommen, nicht weniger als 4841 Pinten. Aus einer ähnlichen Berechnung ergiebt

ses Zermalmens. Allein wenn man bedenkt, daſs der Widderkopf oder Bohrer am obern Ende hohl und vermuthlich nur unten gehärtet ist, dann die lange Zeit berücksichtigt, welche zu dem Zermalmen verwandt wird, so scheint mir der Einwurf ungegründet. Jede Methode des Herausziehns des alten Bohrers würde so lange Zeit nicht erfordern; gäbe man aber nach einem solchen Unfalle das Bohren ganz auf, so hätte Imbert dieses in Erfahrung gebracht.

ſich die Menge des Waſſers, auf welche man rechnen darf, wenn das hydrometeoriſche Waſſer auf den Dächern aufgefangen und zum ökonomiſchen Gebrauche in Ciſternen aufbewahrt wird. Die ſo berechnete Waſſermenge kann aber ſelbſt dann nicht gegeben werden, wenn bloſs Schnee herabfiele und allmälig aufgethaut würde, indem während der hierzu erforderlichen Zeit ein bedeutender Theil deſſelben verdunſtet; inzwiſchen ergiebt ſich aus dieſer Ueberſicht ſo viel, daſs unter günſtigen Umſtänden durch ausgedehnte, von Thälern durchſchnittene Bergketten eine ſo enorme Menge Quellwaſſer erzeugt werden kann, als durch die mächtigen Ströme dem Meere zufließt, im Kleinen aber kann der Reichthum mancher perennirenden natürlichen oder künſtlich erbohrten Quellen hiernach nicht mehr auffallend erſcheinen.

Im Allgemeinen kennt man den Reichthum der Quellen nicht, konnte auch nicht veranlaſst ſeyn, denſelben aufzuſuchen, da er in zahlloſen Abwechſelungen von wenigen Kubikzollen in 24 Stunden bis zu vielen Tauſenden von Kubikfuſs verſchieden iſt, von der mühſamen Aufſuchung dieſer Gröſsen aber endlich kaum irgend ein Nutzen zu erwarten ſteht. Nur von wenigen Quellen hat man daher beiläufig die Menge des Waſſers aufgeſucht, die ſie liefern, und ich theile von dieſen, ohnehin ziemlich unſichern, Beſtimmungen hier nur einige als Probe mit. Der Hexenbrunnen auf dem Brocken giebt täglich 1440 Kub. F., die ſämmtlichen Quellen zu Carlsbad 192726 Kub. F.[1], die zu Baden-Baden 14125 Kub. F.[2], der Sauerbrunnen zu Selters 834 Kub. F.[3], die vier Quellen zu Nendorf, nämlich die Trinkquelle und die drei Badequellen, zuſammen 10173 Kub. F.[4], der ſöderköping'ſche Sauerbrunnen 6927 Kub. F. und die Mühlenquelle bei Upſala 15008 Kub. F.

Eine merkwürdige Ergiebigkeit zeigen namentlich nicht ſelten die arteſiſchen Brunnen, die man in dieſer Hinſicht ſorgfältiger beachtet hat. Unter den 41 durch v. Jacquin[5]

1 G. LXXIV. 198.

2 Klüber über Baden. Th. I. S. 50.

3 J. F. Weſtrumb Beſchreibung von Selters. S. 14.

4 F. Wurzer phyſikaliſch-chem. Beſchr. d. Schwefelquellen zu Nendorf. S. 82 ff.

5 Wiener Zeitſchrift. Bd. VIII. S. 270.

untersuchten Bohrbrunnen liefert einer 1080, ein anderer 1661 und der stärkste 1728 wiener Eimer in 24 Stunden, alle zusammen aber mehr als 9000 Eimer oder ungefähr 12204 Kub. Fuſs. Merkwürdig ist in dieser Beziehung, daſs man das Wasser artesischer Brunnen an verschiednen Orten zum Betriebe der Mühlräder benutzt, in welcher Beziehung es noch auſserdem den groſsen Vortheil gewährt, daſs es bei stets gleichbleibender Temperatur im Winter selbst nicht nur nicht gefriert, sondern auch dem sonstigen Betriebswasser beigemischt die Räder gegen das Einfrieren schützt, weil es nicht weit von den Bohrlöchern auf dieselben fällt, also in der kurzen Zeit seines Flieſsens an freier Luft nicht sehr erkalten kann. Namentlich findet diese Benutzung bei Königsborn unweit Unna statt, wo die Salinenwerke groſsentheils durch Bohrbrunnenwasser betrieben werden, und im Dorfe Hemmerde, wo mehrere Bohrlöcher zwei Mahlmühlen treiben, deren jede 3 Kub. F. Wasser in der Secunde verbraucht[1].

IV. Periodisches Laufen der Quellen.

In einigen Gegenden des nördlichen Deutschlands giebt es eine Art periodischer Quellen, die man *Maibrunnen*, auch *Hungerquellen* nennt. Sie finden sich auf Wiesen und Feldern, brechen meistens im Monate Mai hervor, sind mehr oder minder ergiebig, so daſs sie entweder den nächsten Niederungen zuflieſsen, oder bloſs eine Ansammlung von stagnirendem Wasser erzeugen, und dauern längere oder kürzere Zeit bis zum Anfange des Monats Juni oder bis über die Mitte des Monats Juli. Aus ihrer Reichhaltigkeit und längern Dauer schlieſsen die Landleute auf bevorstehenden Miſswachs, woher auch der Name Hungerquellen seinen Ursprung hat, wogegen ihr gänzliches Ausbleiben als Vorbedeutung einer reichen Ernte gilt. Da sie sich vorzugsweise in Niederungen und nassen Gegenden finden, so entstehn sie vermuthlich dann, wenn der Erdboden eine Menge Feuchtigkeit im Winter bereits aufgenommen hat, damit getränkt ist und also das Schnee-

---

1 Untersuchungen über den Effect einiger in Rheinland-Westphalen bestehenden Wasserwerke. Von P. N. C. Egen. Berlin 1831. S. 154.

waſser der nächſten Erhöhungen nicht mehr einsaugen kann, so daſs dieses über der Erdoberfläche zum Vorschein kommt; der Boden bleibt daher wegen mangelnder Wärme und Verdunstung zu kalt, die Gewächse gedeihen nicht und es entsteht Miſswachs.

Sehr viele Quellen liefern allezeit eine gleiche Menge Waſser. Am meiſten ist dieses der Fall bei solchen, die aus Gletschern entspringen, weil der wärmere Boden ununterbrochen eine gleiche Menge Eis und Schnee aufthaut; die heiſsen, aus Urgebirgen hervorbrechenden, desgleichen die meiſten Mineralquellen, und auch solche, die ausgedehnten Bergketten ihren Ursprung verdanken, haben gleichfalls diese Eigenschaft, weil sie aus groſsen Ansammlungen entspringen, bei denen die ungleiche Menge des zuflieſsenden hydrometeoriſchen Waſsers durch anderweitige Nebenbedingungen wieder ausgeglichen wird, insbesondere wenn die Ansammlungen aus den verschiedenen Jahreszeiten durch längeres Verweilen in der Erde vereinigt werden und hierdurch die constante Temperatur der Quellen bedingt wird. Andere Quellen dagegen zeigen einen kenntlichen Wechsel ihres Reichthums, wovon die Ursachen sich meiſtens aus örtlichen Verhältniſsen leicht auffinden laſsen. Manche, die aus geringen Höhen ihr Waſser erhalten, wechseln mit der Näſse und Trockenheit der Witterung und versiegen bei anhaltender Dürre gänzlich, was sich eben so bei den unterirdischen Wäſsern der Brunnen, als bei den zu Tage ausgehenden ereignet. Andere dagegen befolgen einen entgegengesetzten Wechsel und sind in der wärmern Jahreszeit am reichſten, weil sie ihr Waſser von schmelzendem Schnee und Eis erhalten. W. Bland[1] will nach einer anhaltenden Reihe von Beobachtungen gefunden haben, daſs die Waſserhöhe in gegrabenen Brunnen wechselt, indem sie im Winterſolſtitium bis zum Minimum abnehmen, bald darauf wachsen und im Sommerſolſtitium ihr Maximum erreichen sollen; allein dieses kann nur durch Oertlichkeiten bedingt seyn und nicht als allgemeine Regel gelten. Ein hiervon abweichendes Resultat geht dagegen aus den mehrjährigen Meſsungen hervor, welche Henwood[2] bei den Dampfmaschi-

1 Phil. Mag. and Ann. of Phil. N. S. T. XI. N. 61. p. 58. N. 62. p. 88.
2 Phil. Mag. and Ann. T. IX. p. 170.

nen der Bergwerke in Cornwallis angestellt hat, wonach mit einigen Schwankungen die Wassermenge vom December an zunimmt, im März oder April ihr Maximum erreicht und im October oder November auf ihr Minimum wieder zurückkommt. Spätere, sieben Jahre hindurch fortgesetzte Beobachtungen von ebendemselben[1] ergeben, daſs jene Maxima und Minima nicht bei allen Quellen gleich sind, sondern von den Zeiten der reichlichsten oder spärlichsten Regen, bedingt durch die Tiefe der Quellen, abhängen. So erreichte von drei Quellen im Mittel die eine im Januar ihr Maximum und im September ihr Minimum, zwei andere aber ersteres im März, letzteres im December und November. Im Allgemeinen haben die Regenmengen zwar einen Einfluſs auf den Reichthum der Quellen, aber beide sind einander nicht direct proportional, auch folgen beide nicht jederzeit und bei allen Minen in gleichen Zeiträumen auf einander. Eben so sind im Ganzen die tiefſten Quellen die reichhaltigsten, sobald ihre Tiefe 70 bis 120 Faden nicht übersteigt, wächst diese aber bis 130 oder gar 180 Faden, dann nehmen sie mit der Tiefe wieder ab.

In vielen Brunnen, deren Entfernung von benachbarten Flüssen nicht groſs ist, erhält sich der Wasserstand stets in gleichem Niveau mit den letztern. Eben dieses ist der Fall bei solchen in der Nähe des Meers, wobei noch der Umstand schon den Alten auffallend war, daſs sie süſses Wasser haben. Allerdings giebt es sehr nahe am Ufer auch Salzbrunnen, deren Wasser aus dem Meere durch den Sand herbeiflieſst, aber dieses ist nichts Auſserordentliches und Bemerkenswerthes, wohl aber das süſse Wasser der Brunnen in geringer Entfernung vom Seewasser. Der letztere Umstand zeigt aber deutlich, warum diese und die nahe bei Flüssen oder Landseen befindlichen mit jenen gröſsern Wassermassen ein gleiches Niveau behalten, nämlich nicht deswegen, weil sie aus ihnen gespeist werden, sondern weil sie ihren Ueberfluſs an dieselben abgeben, welcher jedoch nicht weiter, als bis zur Herstellung des gleichen Niveau's abflieſsen kann. Die auffallende Erscheinung des süſsen Wassers in groſser Nähe beim Meere entging den Alten nicht, vielmehr erzählt Hir-

2 London and Edinburgh Phil. Mag. and Journ. of Sc. N. IV. p. 287.

Digitized by Google

tius[1], daſs Cäsar bei der Belagerung von Alexandrien Brunnen am Ufer graben lieſs und ſüſses Waſser fand; nach Lulofs[2] aber gaben ſogar Brunnen auf den Dünen bei Waſſenaer ſüſses Waſser, was ungleich merkwürdiger iſt, als das leicht erklärbare Phänomen der ſüſsen Quellen, die in der See münden. Nach Labat[3] findet man in allen ſandigen Baien ſüſses Waſser, deſſen Urſprung vom Regen abzuleiten ſey, weil beim tiefern Graben das ſalzige Seewaſſer zum Vorſchein komme.

Die bereits angegebene Urſache erklärt zugleich die Eigenthümlichkeit einiger Brunnen in der Nähe des Meers, daſs ſie die Ebbe und Fluth zeigen, wie zuweilen ohne genauere Prüfung unrichtig, mitunter aber der Wahrheit gemäſs, berichtet wird. Nach Plinius[4] zeigt ſich dieſes bei einigen Quellen in der Gegend von Cadix und an andern Orten in Spanien; Varenius[5] erwähnt ſolche Beiſpiele von Wallis und Island, Dodart[6] aus der Gegend von Calais und Norwood[7] von den bermudiſchen Inſeln. Wenn aber Astruc[8] von einer Quelle unweit Cracau behauptet, ſie ſey beim Vollmonde allezeit ſtärker als beim Neumonde, ſo gründet ſich dieſes und ähnliches auf unbewährte Erzählungen. Sicherer ſcheint eine ältere Beobachtung zu ſeyn, daſs eine Quelle zwiſchen Breſt und Landenau bei der Ebbe des benachbarten Meers ſteigt und bei der Fluth fällt, welches man aus der Langſamkeit erklärt, womit das Waſſer durch die unterirdiſchen Canäle zuſtrömt und abflieſst.

Viele Aufmerkſamkeit haben von jeher die *intermittirenden* Quellen erregt, die in regelmäſsigen oder unregelmäſsigen Perioden bedeutende Unterſchiede ihrer Ergiebigkeit zeigen oder ganz ausſetzen. Wenn man die bereits erwähnten und

---

1 De bello Alexandrino. c. 8.

2 Einleitung zur math. u. phyſ. Kenntniſs der Erdkugel. Ueb. von Käſtner. Leipz. 1755. 4. S. 295.

3 Voyage aux Isles franç. de l'Amérique. T. V. p. 307.

4 Hiſt. Nat. L. II. c. 97 u. 103.

5 Geogr. gen. Cap. 17. prop. 17.

6 Du Hamel Hiſt. Acad. Reg. Sect. II. c. 3. §. 3.

7 Phil. Trans. N. 30. p. 656.

8 Hiſt. natur. de Languedoc.

erklärten Maibrunnen ausschlieſst, so giebt es vermuthlich nur drei Ursachen, welche diesen periodischen Wechsel herbeiführen, und bei einigen Quellen herrscht gar kein Zweifel darüber, welche von diesen Ursachen bei ihnen wirksam ist, bei andern wird die Entscheidung bloſs dadurch schwierig, daſs man die auf sie einwirkenden örtlichen Bedingungen nicht hinlänglich kennt. Diese Ursachen sind erstlich Ansammlungen von Luft oder Gasarten in den Canälen der Quellen, zweitens der ungleiche Druck der Luft in unterirdischen Höhlen auf das in ihnen zugleich eingeschlossene Wasser, und drittens heberförmige Canäle, welche das periodische Flieſsen mancher Quellen auf gleiche Weise bedingen, als dieses beim sogenannten künstlichen Tantalus oder dem Vexirbecher geschieht.

Wenn das Quellwasser in Röhren fortgeleitet wird, so entwickelt sich aus demselben eine nicht unbedeutende Menge Luft, welche man daher durch eigene Vorrichtungen bei den gröſsern Wasserleitungen fortzuschaffen sucht, um den regelmäſsigen Ausfluſs nicht zu stören; bei kleinern Röhrenleitungen ist die Sache zu unbedeutend, als daſs man bei ihrer Anlage hierauf Rücksicht nehmen sollte, daher man bei dieser fast ohne Ausnahme eine Art periodischer Unterbrechung wahrnehmen kann. Die ausgeschiedenen Luftblasen werden nämlich mit dem Wasser zugleich fortgeführt, und kommen sie dann in die meistens engere Ausguſsröhre, so füllen sie diese gröſstentheils oder ganz aus, so daſs ein momentaner geringerer oder auch ganz unterbrochener Ausfluſs statt findet. Am auffallendsten zeigt sich dieses in denjenigen Fällen, wenn die Luftentwickelung so stark ist, daſs der Wassercylinder ganz getrennt wird und die ohnehin durch den hydrostatischen Druck comprimirte Luft vor ihrem eigenen Ausströmen eine Vermehrung des Ausflusses, nachher aber einen gänzlichen Stillstand hervorbringt. Eben diese Ursache bewirkt zuweilen auch einen gewissen periodischen Wechsel bei den artesischen Brunnen; sind diese aber beträchtlich tief, so wird nicht bloſs atmosphärische Luft frei, sondern es entwickeln sich mitunter solche Mengen anderer Gasarten, daſs dadurch eine weit beträchtlichere Periodicität zum Vorschein kommt. Gas- und Wasserquellen sind ohnehin oft mit einander verbunden, wie später gezeigt werden soll, man hat

Digitized by Google

aber auch namentlich beim Bohren der Brunnen oft beträchtliche Gasentwickelungen wahrgenommen [1].

Es iſt ein gewiſſer Bau und Zuſammenhang der Höhlungen im Innern der Erde denkbar, wobei die Entwickelung der Luft- und Gasarten noch ungleich merklichere Wechſel erzeugen muſs. Zu dieſem Ende werde angenommen, daſs ſich im feſten Geſteine die Höhlung A befinde, welche aus dem Raume B ihren Waſſerzufluſs erhält. Die verhältniſsmäſsige und, abſolute Gröſse beider Räume mag verſchieden ſeyn, auch macht die Weite und Biegung des Canals *a* keinen Unterſchied, ſelbſt wenn derſelbe, wie die punctirte Linie andeutet, unter das im Raume A angeſammelte Waſſer herabgeht und ſtatt von oben herabwärts gebogen zu ſeyn, eine entgegengeſetzte Richtung von unten nach oben hat. Die im Raume B oder überhaupt in den herbeiflieſsenden Waſſeradern, auch die ſonſtig im Berge entwickelte Luft ſammelt ſich im Raume A, nimmt an Spannung ſtets zu, drückt auf das am Boden angeſammelte Waſſer und treibt dieſes im Canale oder dem Bohrloche a b c in die Höhe, bis ihre Menge ſo groſs iſt, daſs ihr Druck den Zufluſs hindert, die Oeffnung a frei wird und ſtatt Waſſer Luft in dem Canale a b c aufſteigt. Iſt letzterer weit, ſo entweicht neben der zurückfallenden Waſſerſäule die Luft, der Zufluſs des Waſſers aus *a* beginnt abermals, die Mündung a bleibt eine Zeit lang verſchloſſen, und die Luft erhält allmälig wieder Spannkraft genug, um das Waſſer im Canale emporzuheben. Es iſt hierbei ſelbſt nicht einmal nöthig, daſs der Zufluſs aus *a* unterbrochen werde, aber man überſieht bald, wie leicht durch die angegebenen Bedingungen eine wechſelnde Höhe des Waſſers in den Röhren arteſiſcher Brunnen und ein periodiſcher Wechſel des Flieſsens der Quellen überhaupt herbeigeführt werde [2]. Sind die hierbei nach Wahrſcheinlichkeitsgründen angenommenen Räume bedeutend groſs, luftdicht und mit Luft angefüllt, deren Menge durch fortgehende Entbindung nicht vermehrt wird, deren Volumen jedoch durch Wärme eine Zunahme erhält, ſo wird deren ungleiche Spannung ähnliche Erſcheinungen, als die beſchriebenen, hervorbringen.

Fig. 182.

1 S. Bruckmann a. a. O. S. 225.

2 Eine dieſer ähnliche, aber minder beſtimmte Erklärung giebt Dutrochet in Ann. Ch. et Phys. XXXIX. 230.

Es giebt indeſs Quellen, die während so langer Zwischenräume intermittiren, daſs man diese Erscheinung nicht füglich aus der angegebenen Ursache ableiten kann und daher annimmt, es befänden sich heberförmige Canäle im Innern der Erde, durch welche eine Unterbrechung des Flieſsens auf gleiche Weise, als beim *künstlichen Tantalus* oder dem *Vexirbecher*, hervorgebracht werde[1]. Um dieses zu versinnlichen,
Fig. 183. sey A ein Raum, in welchem das Quellwasser sich sammelt, und von solcher Gröſse, daſs selbst ein mehrere Monate anhaltender Zufluſs ihn gänzlich zu füllen nicht vermöge. Wenn man nun annimmt, daſs alles Wasser durch den heberförmigen Canal abc abgeflossen ist, so wird der Ablauf aufhören und nicht eher wieder beginnen, als bis der hohle Raum und zugleich der heberförmige Canal abc bis zu seinem höchsten Puncte b angefüllt ist, woraus der Abfluſs wieder anfängt und bis zur gänzlichen Entleerung der Höhle dauert[2].

Entweder die eine oder die andere dieser Hypothesen kann zur Erklärung der verschiedenen Phänomene der intermittirenden Quellen dienen, deren einige schon seit langer Zeit bekannt sind. Der ältere und jüngere Plinius[3] erwähnen eine Quelle beim Comer-See (*Lacus Larius*), die dreimal des Tags ab- und zunimmt, und vermuthlich ist diese die nämliche, deren Scheuchzer[4] gedenkt, die fünf Meilen von diesem See entfernt liegt. Als periodische Quellen werden ferner genannt die zu Torbay in Devonshire[5] und zu Buxton in Derbyshire[6]. Unter die bekanntesten gehört der *Bullerborn* bei Altenbekum im Paderborn'schen, dessen sonderbare Eigenschaft schon 1665 bewundert wurde. Im Sommer hat er in der Regel sechsstündige Perioden und flieſst zuweilen gar nicht, im Frühling, Herbst und Winter dagegen alle 4 Stunden 15 Min. mit starkem Getöse so reichlich, daſs einige

1 Vergl. *Heber*. Bd. V. S. 130.

2 Ueber diese Hypothesen vergl. Musschenbroek Introd. T. II. §. 2379. Desaguliers Exper. Phil. T. II. p. 173. Nicholson's Phil. Journ. XXXV. p. 178. Ferguson lectures on select subjects cet. Lond. 1790. Suppl. p. 20.

3 Hist. nat. L. II. c. 103. L. XXXI. c. 2. Epist. L. IV. ep. 30.

4 Hydrogr. Helvet. p. 126.

5 Phil. Trans. Nr. 202 u. 204.

6 Childrey Curiositates Britannicae.

Digitized by Google

Mühlen davon ihr Betriebwaſser erhalten können [1]. Eine Quelle bei Fonteston oder Fontestorbe in Mirepoix flieſst nach Astruc [2] und de la Hire in den drei Sommermonaten abwechselnd etwa 36 Minuten und setzt dann 32 Min. wieder aus; bei eintretender naſser Witterung flieſst sie auch gleichförmig und ein Regen von mehrern Tagen oder von gröſserer Stärke macht sie leicht 12 Tage lang anhaltend flieſsen, worauf sie dann zur gewöhnlichen Periodicität wieder übergeht. Als im Jahre 1692 der Schnee zwei Monate lang gefroren blieb, lief sie intermittirend auch in den Monaten November, December und Januar. Eine Quelle bei Fonsanche unweit Nimes flieſst 7 Stunden und bleibt 5 Stunden aus, verzögert aber binnen 24 Stunden um 50 bis 53 Minuten und läuft bei regnerischem Wetter beständig; eine andere zu Bouledon [3] am linken Ufer des Gardon flieſst unterbrochen in sehr kurzen, aber unregelmäſsigen Intervallen. Eine Quelle bei Colmar und Senez in der Provence setzt 7 Minuten lang aus, wurde beim Erdbeben zu Lissabon 1755 perennirend und erst 1763 wieder intermittirend [4]. Aehnlich sind: die Quelle beim See Bourguet in Savoyen, die in 24 Stunden zweimal aussetzt, eine in Poitou, die von Droguet und Castres in Languedoc u. a. In Perigueux, Depart. der Dordogne, ist eine Quelle, welche jeden Morgen um 9 Uhr austritt und die Umgegend unter Waſser setzt, nach 2 Stunden aber zu flieſsen aufhört [5]. Eine Quelle bei Kuhla unweit Eisenach flieſst vom Frühlingsäquinoctium bis zum Herbst reichlich, im Winter aber zieht sie Waſser aus einem benachbarten Bache ein, weswegen die Müller dieselbe dann verstopfen, damit sie ihnen das Waſser nicht entzieht. Aus einer Quelle am Pilatusberge und einer andern bei Burgenburg bricht das Waſser täglich einigemal hervor; bei Remus in Graubündten ist eine solche, die alle Mittage zu flieſsen anfängt und Morgens 9 Uhr wieder aufhört, und bei Aelen in Bern, welche nach Plantinus [6] alle

1 Phil. Trans. I. p. 127. u. 133. Abridg. T. II. p. 30.

2 Histoire de Languedoc. P. II. ch. 1.

3 Journ. de Phys. 1785. II. 295.

4 Astruc a. a. O. p. 288. 293. 404.

5 Rigel Beschreib. des siebenjähr. Kampfes auf d. pyren. Halbinsel. Rastadt 1819. T. I. p. 35.

6 Helvetia ant. et nov. p. 72.

Digitized by Google

7 Jahre nur einige Wochen hindurch flieſst. Varenius[1] erzählt von einer heiſsen Quelle in Japan, die täglich zweimal nur eine Stunde lang, und von einer andern bei Cachemir, welche beim Schmelzen des Schnees im Mai nur Morgens, Mittags und Abends Wasser giebt. Die *fontaine ronde* unweit Pontarlier intermittirt in Perioden von 6 Minuten, welches Dutrochet von entwickelter Kohlensäure ableitet, die den Canal erfüllt, auch ist eine andere im Jura, welche alle 7 Minuten intermittirt[2]. Ueberhaupt ist die Schweiz aus leicht begreiflichen Gründen vorzüglich reich an Erscheinungen dieser Art. So sieht man bei Watlis in Graubündten aus einem Felsen zwei Quellen, ungefähr 25 Schritte von einander entfernt, hervorbrechen, welche vom Anfange Aprils an bis zum Herbst reichlich flieſsen[3], eine ähnliche in Unterwalden bei Gravenort dauerte im Jahre 1700 bis zum Monate October[4]; der nahe dabei befindliche Dürrbrunnen ist von gleicher Beschaffenheit, und der sogenannte verlorne Brunnen dringt am Vorgebirge des Rözliberg-Gletschers aus einer weiten Höhle vom Frühlinge bis zum Herbste wie ein kleiner Bach hervor[5].

Vorzüglich merkwürdig ist der Engstlerbrunnen im Bern'schen, welcher doppelte Perioden hält, zuerst eine jährliche von Mitte Mai bis in die Hälfte des August, dann eine tägliche, von 4 Uhr Nachmittag bis 8 Uhr Morgens; jedoch sind beide Perioden nicht absolut regelmäſsig, indem er vielmehr zuweilen täglich längere oder kürzere Zeit selbst ohne Unterbrechung flieſst oder ausbleibt und auch beim jährlichen Wechsel nicht ohne Ausnahme zu der nämlichen Zeit erscheint[6]. Von ähnlicher Beschaffenheit ist der Lugibach. Das Wasser des Bads zu Pfäfers in der Landschaft Sarganz kommt jährlich im Anfange des Mai zum Vorschein und verschwindet Mitte Septembers. Bei Putschlaf in Graubündten und an einigen

---

1 Geogr. gen. cap. 17. pr. 7.

2 Ann. Chim. et Phys. XXXIX. 230. 435. Daraus in Poggendorff Ann. XV. 533.

3 Scheuchzer Itiner. alpin. p. 483.

4 Scheuchzer Naturgesch.

5 Gruner die Eisgebirge des Schweizerlandes. Bern 1766. 8. Th. I. S. 148.

6 Scheuchzer Itin. alp. T. I. p. 26. T. II. p. 405.

Digitized by Google

andern Orten dieser Landschaft giebt es Quellen, die der gewöhnlichen Regel zuwider bei trocknem Wetter flieſsen, bei regnerischem gänzlich versiegen[1]. In Terra di Lavoro rechts vom Rio di Sciavi befinden sich in einem Thale zwei Quellen, wovon die eine in unregelmäſsigen Intervallen flieſst und ausbleibt, jederzeit hat aber das zuerst kommende Wasser einen ekelhaften Geschmack nach Alaun, der sich in einigen Minuten verliert[2]. Als eine Merkwürdigkeit eigenthümlicher Art verdient noch bemerkt zu werden, daſs der Schloſsbrunnen in Carlsbad am 2. Sept. 1809 plötzlich versiegte, am 15. Oct. 1823 aber mit seiner frühern Stärke wieder zu flieſsen anfing.

V. Temperatur der Quellen.

Die Temperatur der Quellen wird zunächst durch zwei Ursachen bedingt, nämlich durch die der Hydrometeore, denen sie ihren Ursprung verdanken, und durch die der Erdkruste, in welcher sie entstehn und fortflieſsen. Man hat daher die Wärme der Quellen in den neuesten Zeiten mit vielem Fleiſse und groſser Sorgfalt untersucht, um aus ihr die mittlere Temperatur der verschiednen Orte zu bestimmen, wie bereits im Allgemeinen erwähnt worden ist[3], später aber ein Gegenstand genauerer Untersuchung seyn muſs, wenn von der mittlern Temperatur der Erdoberfläche speciell gehandelt wird. Beschränken wir uns hier gleichfalls nur auf das Allgemeine, so ist klar, daſs die Temperatur der Quellen verschieden seyn muſs, je nachdem die eine oder die andere der angegebnen Ursachen einen gröſsern oder geringern Einfluſs ausübt. Wenn wir hiervon ausgehn, so lassen sich füglich die veränderlichen von den gleichbleibenden unterscheiden.

Eine *veränderliche* Temperatur zeigen diejenigen Quellen, welche aus sehr geringen Tiefen hervorkommen, bis wohin der Einfluſs der täglich und jährlich wechselnden Wärme

1 Wagener Hist. nat. Helvet.

2 Valisneri in v. Crell's neuem chem. Arch. T. I. p. 309. Ueber die intermittirenden Quellen überhaupt s. Otto System einer allgemeinen Hydrogr. S. 121.

3 S. *Erde* Bd. III. S. 989.

dringt; sie sind wärmer im Sommer und kälter im Winter und werden überhaupt sowohl in dieser Hinsicht, als auch in Beziehung auf ihre Ergiebigkeit durch die wechselnde Beschaffenheit der sie erzeugenden Hydrometeore bedingt. Eben wegen der hieraus erwachsenden Regellosigkeit hat man die Temperatur solcher flacher Quellen überall kaum beachtet, vielmehr geben die Physiker die Untersuchungen sofort auf, als sie den Mangel des Gleichbleibens entdecken, obgleich aus anhaltend fortgesetzten Beobachtungen der veränderlichen Quellen die mittlere Temperatur der Orte mit groſser Genauigkeit gefunden wird, wie bereits erinnert worden ist.

Die Quellen von *gleichbleibender* Temperatur haben die Aufmerksamkeit der Physiker vorzugsweise in Anspruch genommen. Sie lassen sich füglich abtheilen in kalte und warme, wenn man unter den erstern diejenigen versteht, deren Wärme der mittlern ihrer Orte nahe gleich ist, unter den letztern aber solche, die eine höhere Temperatur haben. Daſs die Temperatur der Quellen mit der mittlern der Orte sehr genau zusammenfällt, wird aus ihrem Ursprunge leicht erklärlich. Sie entstehn nämlich aus dem Wasser der Hydrometeore, welches so tief in die Erdkruste eindringt und vor seinem Austritte an die Oberfläche dort so lange verweilt, daſs theils durch Mischung des wärmern mit dem kältern eine mittlere Wärme erzeugt wird, theils die mittlere Temperatur der Erdkruste ausreicht, ihm diese mitzutheilen und bleibend zu erhalten. Indem aber die letztere durch den vieljährigen Einfluſs der die mittlere Temperatur der Orte bedingenden gemeinsamen Ursachen constant geworden ist, so läſst sich schon hieraus die Gleichheit beider erklären. Inzwischen ist auch diese nicht überall absolut vollständig, sondern es zeigen sich gröſsere oder geringere Abweichungen, welche jedoch nur bei einer Vergleichung beider im Art. *Temperatur* ausführlicher untersucht werden können; hier wird es dagegen genügen, bloſs die hauptsächlichsten Abweichungen von der allgemeinen Regel anzugeben.

Diejenigen Quellen, die man nicht wegen ihrer höhern Temperatur warme nennt, haben eine stets gleichbleibende Wärme, die der mittleren an ihrem Orte gleich ist. Man miſst dieselbe vermittelst des Thermometers, welches man in tiefe Brunnen hinabsenkt oder da in das Wasser hält, wo es

Digitized by Google

zu Tage hervorkommt. Hierbei ist erforderlich, daſs das Thermometer genau die Temperatur der Quelle erhalte und während des Ablesens seinen Stand nicht ändere, weswegen Wahlenberg[1] die Kugel mit einer dreifachen Lage Tuch umwickelt und sie eine Stunde lang in die Quelle legt, Kämtz[2] dagegen dieselbe eine Viertelstunde lang im Wasser hin- und herführt, im Winter aber der Kürze halber aus zwei Beobachtungen das Mittel nimmt, wenn bei der einen die Temperatur des Thermometers etwa 2° über, bei der andern 2° unter die muthmaſsliche Wärme der Quelle von der Beobachtung künstlich gebracht war. Untersucht man tiefe Brunnen, so kann eine Differenz dadurch entstehn, daſs in die offenen die kalte Luft im Winter herabsinkt, aber nicht die warme im Sommer, wie Erman[3] bei Potsdam beobachtete, oder dadurch, daſs die ungleich warmen Wasserschichten übereinander gelagert sind, worüber Kämtz[4] eine entscheidende Erfahrung beibringt. Wasser aus übrigens tiefen Brunnen heraufgepumpt ist für Messungen dieser Art nicht allezeit geeignet, denn ich habe aus einem solchen von etwa 40 F. Tiefe Unterschiede von 4° bis 10°,2 R. erhalten, ungeachtet ich vor der Messung erst ungefähr eine Minute anhaltend Wasser auspumpte, dagegen habe ich in sehr kalten Wintertagen selbst bei solchen reichlichen Quellen, die in den übrigens mit Eis bedeckten Neckar mündeten, stets fast ganz genau 8° R. gefunden, was von der hiesigen mittlern Temperatur sicher nicht bedeutend abweicht. Inzwischen gab ein 50 Fuſs tiefer Brunnen in Altona im Monate August 1830 stets 7°,3 R., was von der dortigen mittlern Temperatur nicht merklich verschieden ist[5].

Es finden jedoch Abweichungen von dieser allgemeinen Regel statt, deren Ursachen nicht schwer aufzufinden sind, indeſs bin ich geneigt anzunehmen, daſs diejenigen Quellen, deren Temperatur im Winter bis 2° C. niedriger ist als im Sommer, nicht zu den constanten gehören, weil sie nicht tief genug sind, folglich das Wasser der Hydrometeore zu schnell

1 G. XLI. 118.
2 Meteorologie. Th. II. S. 190.
3 Berliner Denkschr. 1818. S. 388.
4 Meteorologie. Th. II. S. 189.
5 Schumacher astron. Nachrichten.

wieder abfließt, da die eigentlich tiefen zuweilen im Winter eine etwas größere Wärme zeigen, weil sie dann erst das im Sommer aufgenommene Wasser wiedergeben[1]. Hiernach würden also die bei Edinburg unter 55° 54′ N. B. beobachteten Quellen[2], bei denen das Maximum 9°,58 und 10°,87 im Juli, das Minimum aber 7°, 69 und 6°, 25 C. im Februar betrug, unter die veränderlichen gehören, dagegen die durch Wahlenberg[3] bei Upsala untersuchte Sandviks-Quelle unter die beständigen, weil sie nur zwischen 6°,6 und 6°,8 C. schwankte, auch war ihre Temperatur im Juni 6°,65, im Juli 6°,7, im December aber 6°,8 und im Januar 6°,7, so daſs die Winterwärme wohl einigen Ueberschuſs haben könnte. Kämtz[4] leitet aus den Messungen der unveränderlichen Quellen die interessante Folgerung ab, daſs zwar nach Fourier's Untersuchungen die Temperatur eben so lange steigen als fallen müsse, dieses aber bei den gemessenen nicht der Fall sey, indem vielmehr die Zeit des Steigens sich zur Zeit des Sinkens bei den Edinburger wie 1 zu 1,53, bei den schwedischen aber wie 1 zu 1,57 verhalte, wovon er den Grund in dem schnellern Eindringen des wärmern Wassers findet. Außerdem war die Temperatur bei den Edinburger Quellen 194 Tage über und 171 Tage unter dem Mittel, bei den schwedischen aber umgekehrt 163 Tage über und 202 Tage unter dem Mittel.

Es ist bereits oben[5] erwähnt worden, daſs die Temperatur der Quellen an einigen Orten höher, an andern niedriger als die mittlere ihrer Orte ist, und v. Humboldt[6] folgerte daher aus den bis dahin bekannten Erfahrungen, daſs zwischen 40° bis 45° N. B. und bis 3000 F. Höhe beide Temperaturen zusammenfallen, daſs aber unter niedern Breiten die Temperatur der Quellen geringer als die der Luft sey, in gröſsern Höhen dagegen und unter höhern Breiten vielmehr gröſser. Neuere Untersuchungen haben jedoch sehr auffallende Abweichungen von diesem Gesetze gezeigt. So erhielt die *Commission des*

---

1 John Davy in Edinb. Journ. of Sc. N. II. p. 255.
2 Hertha. Th. XIII. S. 20.
3 G. XLI. 116.
4 Meteorologie. Th. II. S. 193.
5 S. *Erde*. Bd. III. S. 990.
6 Mém. d'Arcueil. T. III. p. 599.

Arts im Josephsbrunnen der Citadelle von Cairo 22°,5, von der Ortstemperatur = 22°,2 kaum abweichend, L. v. Buch[1] unfern von Rom 11°,88 bei einer Ortstemperatur von 15°,5 und Bohr[2] in Bergen 8°,18, wo die mittlere Temperatur 5°,7 beträgt. Wahlenberg[3] findet den Grund hiervon in der schlechten Wärmeleitung der schützenden Schneedecke, L. v. Buch und Kämtz aber weit richtiger in dem Einfluſse des Regens, wonach die Quellen wärmer seyn müssen bei vorherrschenden Sommerregen und umgekehrt kälter bei vorherrschenden Winterregen. Der Schnee kann allerdings zugleich einen Einfluſs ausüben, aber nur insofern, als er nicht sofort in die Erde dringt, zum groſsen Theile wieder verdunstet und beim Schmelzen das Wasser auf der Oberfläche schnell abläuft. Für die Richtigkeit dieser Erklärung entscheiden eine Menge von Thatsachen. Nach L. v. Buch[4] sind die Quellen auf den canarischen Inseln kälter, weil dort der Regen mehrere Monate fehlt, eben so zwischen den Wendekreisen, weil es beim Eintritte der periodischen Regen plötzlich bedeutend kalt wird. Ferrer fand die Temperatur einer 100 F. tiefen Quelle bei der Havanna 23°,5, die der Luft 25°,5; Smith im Innern von Congo auf 1360 F. Höhe die Quelle 22°,8, wo die mittlere Temperatur 25°,6 seyn muſs; wo es dagegen zwischen den Wendekreisen stets regnet, fallen beide zusammen, weswegen Smith auf den Capverdischen Inseln bei St. Yago in einem 18 F. tiefen Brunnen 24°,4, in einer 1000 F. höher liegenden Quelle aber 25° fand, welche letztere die dortige Lufttemperatur ist, und Buchanan in Nepaul auf einer Höhe von 4140 Fuſs die Temperatur der Quelle 17°,79, die der Luft aber 17°,91, beides nur unmerklich verschieden[5]. Kupffer[6] dagegen verwirft diese Hypothese, weil das meteorische Wasser nicht tief genug eindringe, und leitet dagegen die höhere Wärme aus vulcanischen Einwirkungen her; allein hierdurch werden zwar die eigentlich warmen

---

1 Poggendorff Ann. XII. 408.

2 Magazin for Naturvidensk. 1826. Hft. II. S. 337.

3 De veget. et clim. in Helv. sept. p. LXXVIII.

4 Phys. Beschreib. d. Canar. Inseln. Berl. 4.

5 Kämtz a. a. O. S. 197. Vergl. L. v. Buch in Poggendorff Ann. XII. 408.

6 G. XCI. 184.

Digitized by Google

Quellen bedingt, es giebt aber selbst in vulcanischen Gegenden solche Quellen, deren Temperatur nicht höher ist, als sie durch die Wärme der äuſsern Erdkruste und der Hydrometeore bedingt wird, weil seit dem Aufhören der vulcanischen Ausbrüche die Erdkruste bis zu derjenigen Tiefe, woher das Wasser der kalten Quellen kommt, während der langen Reihe von Jahren bereits die mittlere Temperatur des Orts angenommen hat.

Aus den vorhergehenden Betrachtungen folgt also, daſs die Temperatur der sogenannten kalten Quellen unter den Wendekreisen am höchsten ist, dann im Allgemeinen mit der mittlern Temperatur der Orte nach den höhern Breiten hin abnimmt, bis dahin, wo die letztere unter den Gefrierpunct des Wassers herabgeht. Nach Parry[1] bildet der Polarkreis die Grenze der Quellen, weil über denselben hinaus der Boden stets gefroren ist und bloſs zur Zeit der gröſsten Hitze einige sehr oberflächliche aus dem geschmolzenen Schneewasser gebildet werden; allein die Messungen zeigen, daſs diese Linie nicht als richtige Grenze hierfür gelten kann, weil die Isogeotherme für 0° C. bald über, bald unter derselben hinläuft[2]. Kämtz[3] hält gleichfalls die Isogeotherme von 0° C. für die Grenze der Quellen, glaubt jedoch, daſs noch einige über diese hinausgehn können, weil das Wasser vor dem Gefrieren sich tief unter den Eispunct erkälten lasse und auſserdem Erfahrungen dieses darthun sollen, indem namentlich Capt. James[4] an der Hudsonsbay Quellen unter einer Decke von Eis und Schnee das ganze Jahr flieſsend fand. Allein diese bekannte gröſsere Erkaltung des Wassers findet bloſs bei ruhig stehendem, aber nicht bei flieſsendem statt, und auf jeden Fall nicht bei solchem, welches mit Eis in Berührung kommt. Giebt es also Quellen jenseit derjenigen Grenze, wo die mittlere Temperatur = 0° C. ist, so scheint mir dieses nur dann möglich zu seyn, wenn die Bodentemperatur dort etwas höher ist, was bekanntlich an verschiednen Orten statt findet. Auf gleiche Weise muſs die Temperatur der Quellen

---

1 Journ. of a third Voyage cet. Lond. 1826. 4. p. 133.
2 Vergl. *Temperatur*.
3 Meteorologie. Th. II. S. 219.
4 L. v. Buch in Poggendorff Ann. XXII. 405.

mit der Höhe abnehmen, was auch durch directe Messungen, namentlich von Wahlenberg * in den Alpen, bestätigt worden ist.

Kämtz ** hat zur Auffindung der Isegeothermen eine sehr vollständige Zusammenstellung der Temperaturen der bisher gemessenen Quellen mit Rücksicht auf ihre Höhe über der Meeresfläche geliefert, die ich nicht bedeutend zu vervollständigen vermag und der interessanten Uebersicht wegen hier mittheile.

Orte.	Breite.	Länge.	Höhe. t.	Temp.	Beobachter.
Maypures .	5° 14'	—	—	27°,65	v. Humboldt[1].
Kingston (Jamaica) .	18 0	300 55	—	26, 67	Hunter[2].
Cumana . .	10 27	—	—	25, 63	v. Humboldt[3].
St. Yago (Capverd. J.)	15 0	0 7	—	24, 44	Smith[4].
Congo . .	9 0 S.	—	227t	24, 44	Smith[4].
Darwar .	11 28	75° 11'0	600	24, 24	Christie[5].
Havannah .	23 9	295 22	—	23, 50	Ferrer[4].
Otaheiti . .	17 30 S.	228 4	—	23, 00	A. Erman.
Germa (Sahara)	26 30	—	—	22, 60	Denham[6].
Cairo . .	30 2	48 58	—	22, 50	v. Humboldt[3].
Madera . .	32 38	0 37	—	18, 73	L. v. Buch[4].
Natchez . .	31 28	—	—	18, 30	v. Humboldt[3].
Teneriffa .	28 30	1 8	—	18, 00	L. v. Buch[4].
Charlestown	33 0	298 35	—	17, 50	v. Humboldt[3].
Capstadt .	33 55 S.	36 6	—	17, 22	J. Davy[7].
Paramatta .	33 10 S.	—	—	16, 39	Brisbane[8].
Palermo .	38 7	31 12	—	16, 25	Ungenannter[9].
Carmeaux .	43 0	—	450	13, 00	Cordier[10].
Philadelphia	39 56	302 28	—	12, 67	Warden[3].

* De veget et clim. in Helvetia sept. p. LXXVII.

** Meteorologie a. a. O. Es sind jedoch von mir die schätzbaren Angaben eingeschaltet, welche Adolph Erman ebendaselbst S. 575. als Nachtrag geliefert hat.

1 Voyages T. VII. 422. VIII. 259.
2 Phil. Trans. 1788. p. 61.
3 Isothermes a. versch. Orten.
4 Poggendorff Ann. XII. 407.
5 Edinb. Phil. Journ. N. S. N. 10. p. 292 ff.
6 Narrative p. XLVIII.
7 Edinb. Journ. of Sc. N. II. p. 255.
8 Edinb. Phil. Journ. N. XX. p. 219.
9 Morgenblatt 1822. N. 163.
10 Poggendorff Ann. XV. 180.

Digitized by Google

Orte.	Breite.	Länge.	Höhe. t.	Temp	Beobachter.
New-York	40° 40′	303° 31′	—	12,67	v. Humboldt [3].
Pavia . .	45 11	26 50	—	12,59	Brugnatelli [11].
Taganrog .	47 12	56 37	—	12,50	Elsingk [12].
Cincinnati	39 6	—	—	12,45	v. Humboldt [3].
Nicolajeff .	46 50	49 40	—	12,25	Kupfer [12].
Paris . . .	48 50	20 00	—	11,88	Kupfer [10].
Rom . . .	41 54	30 8	—	11,88	L. v. Buch [4].
Gosport .	50 48	—	—	11,39	Burney [13].
Stavropol .	45 3	59 39	300	10,81	Kupfer [12].
Cork . .	51 54	9 11	—	10,67	Hamilton [14].
San Francisco (Californ.)	37 48	255 34	—	10,63	A. Erman.
Steinbrückean d. Malka.	43 45	—	417	10,62	Kupfer [12].
Moskovskaja Krepost.	45 3	59 42	—	10,62	Kupfer [12].
Albany . .	42 39	—	20	10,56	Greig [15].
Heidelberg	49 25	26 21	60	10,50	Muncke.
Genf . . .	46 12	23 49	202	10,40	v. Humboldt [3].
Potsdam .	52 20	30 45	—	10,10	Erman [16].
London . .	51 31	17 34	—	10,00	Hunter [17].
Halle . . .	51 29	29 38	—	10,00	Kämtz.
Straſsburg	48 35	25 25	—	9,80	Herrenschneider [18].
Dublin . .	53 21	11 22	—	9,67	Hamilton [14].
Basel . . .	47 34	25 15	137	9,50	Merian [19].
Berlin . .	52 31	31 4	—	9,50	Erman [16].
Cambridge (N. A.) . . .	42 23	17 44	—	9,44	Williams [20].
Lowville .	43 47	75 25	120	9,44	Wahlenberg [15].
Zürich . .	47 23	26 12	242	9,40	Wahlenberg [21].
Keswick .	54 33	—	—	9,23	v. Humboldt [3].
Ernisco . .	54 48	—	—	9,23	Hamilton [14].

11 Giornale di Fis. T. X.
12 Edinb. Journ. of Sc. N. S. N. VIII. p. 353.
13 Phil. Mag. monatl. Register.
14 Bibl. Brit. T. VIII. p. 336.
15 Edinb. Journ. of Sc. N. S. Nr. VII. p. 85.
16 Berlin. Denkschr. 1818. S. 382.
17 Phil. Trans. 1788. p. 61. Engeström giebt 10°,8 an.
18 Zeitschr. für d. gesammte Meteorol. I. N. 7.
19 Abhandl. über die Wärme d. Erde in Basel. Basel 1823. 4.
20 Ephem. Soc. Met. Palat. 1785. p. 636.
21 De veget. et clim. in Helvet. sept.

Digitized by Google

Orte.	Breite.	Länge.	Höhe. t.	Temp.	Beobachter.
Altona . .	53° 32	27 26′	—	9°, 12	Schumacher [22].
Bellycastle.	55 12	—	—	8, 89	Hamilton [14].
Abbotshill(Fife) . . .	56 10	—	—	8, 72	Ferguson [23].
Colinton bei Edinb.	55 54	14° 24	60	8, 75	Ungenannter [24].
Ebendaselbst				8, 62	Ungenannter [24].
Armagh . .	54 20	—	—	8, 61	Hamilton [14].
Edinburg .	55 30	14 30	35	8, 61	Roebuck [25].
Sölvesborg.	56 2	32 14	—	8, 60	Engeström [26].
Carlscrona.	56 6	33 11	—	8, 50	Wahlenberg [27].
Kendal . .	54 17	—	—	8, 45	Dalton [3].
Warberg .	57 6	29 57	—	8, 30	Engeström [26].
Londonderry	55 0	9 52	—	8, 28	Hamilton [4].
Königsberg	54 42	38 9	—	8, 16	A. Erman.
Albisrieden	—	—	—	8, 00	Wahlenberg [21].
Söderköping	58 25	34 4	286	7, 70	Engeström [26].
Fayetteville	42 58	—	—	7, 60	Field [28].
Stockholm.	59 20	35 44	—	7, 50	Engeström [26].
Christianstad	58 12	31 49	—	7, 50	Engeström [26].
Sadonsk .	52 10	46 35	—	7, 38	Kupfer [15].
LubochnaThal.	Carpath.	—	279	7, 25	Wahlenberg [29].
Faröer Ins.	—	—	—	7, 13	Forchhammer [30].
Nyköping .	58 45	34 38	—	7, 00	Engeström [26].
Stockholm	59 20	35 44	—	7, 00	Berzelius [31].
Lägstakrog	59 0	—	—	6, 90	Wahlenberg [27].
Norwegen, Westküste	60 00	—	—	6, 80	Engeström [26].
Moscow .	55 45	55 13	—	6, 50	Kupfer [12].
Engelberg.	—	—	—	6, 50	Wahlenberg [21].
Upsala . .	59° 51′	35° 18	100	6, 50	Wahlenberg [27].
Rigi, Kaltebad	—	—	507	6, 40	Wahlenberg [21].
Ullensvang.	60 20	—	734	6, 25	Hertzberg [32].

22 Astronomische Nachrichten 1830.

23 Ure Handwörterbuch d. Chemie. S. 369.

24 Edinb. Phil. Journ. N. S. Nr. X. p. 356.

25 Phil. Trans. 1775. p. 459.

26 Physiographiske Sälskapets Årsberättelse. Lund 1823. p. 32.

27 G. XLI. 152.

28 Silliman's Journ. of Sc. XV. 190.

29 Flora Carp. p. XCI.

30 Karsten Archiv. II. 197.

31 Chemie übers. von Wöhler. Th. I. S. 404. Diese Bestimmung ist ohne Zweifel die richtigere.

32 Magazin for Naturvidenskaberne 1825. Hft. II. S. 197.

Orte.	Breite.		Länge.		Höhe. t.	Temp.	Beobachter.
Kasan . . .	55°	44′	49°	30′	—	6, 25	Kupfer[10].
Baikhof . .	56	36	41	4	—	6, 21	A. Erman.
Ostaschicha	56	6	62	40	66	6, 21	A. Erman.
Guttannen. (Alp.) .	—		—		1042	6, 20	Wahlenberg[21].
Petersburg.	59	56	47	59	—	6, 12	Kupfer[12].
Wladimir .	56	0	57	0	83	6, 02	A. Erman.
Kasan . .	55	48	67	4	16	6, 00	A. Erman.
Petersburg.	59	54	47	59	—	6, 00	A. Erman.
Molde . .	62	42	23	10	—	6, 00	Engeström[26].
Pilatus . .	—		—		682	6, 00	Wahlenberg[21].
Hochalp . .	—		—		637	5, 90	Wahlenberg[21].
Waldai . .	57	54	50	52	166	5, 71	A. Erman.
Dal-Elf-Mündung . .	60	30	—		—	5, 70	Wahlenberg[27].
Bergen . .	60	24	22	57	—	5, 70	Bohr[33].
Kluitschewskaja Selenie	56	18	178	4	66	5, 63	A. Erman.
Slatoust . .	57	0	74	40	60	5, 60	A. Erman.
Schwander-Allmend.	—		—		744	5, 60	Wahlenberg[21].
Schwarzberg-Alp. . .	—		—		779	5, 50	Wahlenberg[21].
Gefle . . .	60	40	34	43	—	5, 50	Wahlenberg[27].
Kuschwa .	58	18	77	52	—	5, 27	A. Erman.
Nischni-Turinsk . .	58	24	77	52	—	5, 25	A. Erman.
Kilmes . .	56	54	68	48	50	5, 00	A. Erman.
Martinsbrunn am Mondberge . .	—		—		709	5, 00	Wahlenberg[27].
Dreybrunnen (Carp.) .	—		—		556	5, 00	Wahlenberg[29].
Abö	60	27	39	58	—	5, 00	Leche[34].
Drontheim	63	30	26	14	—	5, 00	Esmark[35].
Huddiksvall	61	45	34	48	—	4, 80	Wahlenberg[27].
Botzen(Carp.)	—		—		566	4, 55	Wahlenberg[29].
Usi	57	18	52	54	33	4, 40	A. Erman.
Kisnekejewa	54	30	80	0	154	4, 38	Kupfer[10].
Obere Malka (Cauc.) .	43	30	—		1283	4, 12	Kupfer[12].
Pilatus . .	—		—		877	4, 10	Wahlenberg[21].

33 Magazin for Naturvidenskaberne 1826. Hft. II. S. 337.
34 Abhandl. d. Schwed. Acad. 1763. T. XXV. p. 200.
35 Reise von Christiania nach Drontheim. S. 51.

Digitized by Google

Orte.	Breite.		Länge.		Höhe. t.	Temp.	Beobachter.
Sandsvall .	62°	30′	—		—	4, 00	Wahlenberg[27].
Medelpad .	62	30	—		—	4, 00	Wahlenberg[27].
Krasnojarsk	56	0	110	34	116	3, 91	A. Erman.
Staffelberg	—		—		891	3, 80	Wahlenberg[21].
Stavnicza (Carp.) .	—		—		816	3, 80	Wahlenberg[29].
Irkutzk . .	52	18	121	52	225	3, 75	A. Erman.
Brunni-Alp	—		—		959	3, 70	Wahlenberg[21].
Unalaschka	53	55	—		—	3, 60	Chamisso[36].
Roſsboden	—		—		1096	3, 50	Wahlenberg[21].
Räuberbrunnen (Carp.)	—		—		996	3, 40	Wahlenberg[29].
Nischni Tagilsk. . .	58	00	77	0	116	3, 28	A. Erman.
Jedrowa . .	57	42	51	16	133	3, 12	A. Erman.
Torneö . .	65	61	41	52	—	3, 00	Hellant[37].
Blanke Alp	—		—		996	2, 95	Wahlenberg[21].
Bogoslawsk	59	48	78	4	116	2, 94	A. Erman.
Umeo . . .	63	50	37	52	—	2, 90	Wahlenberg[27].
Nischnei-Tagilsk . .	58	0	77	0	103	2, 88	Kupfer[10].
Tigil . . .	57	54	175	40	25	2, 75	A. Erman.
Werchoturie	58	54	77	52	150	2, 65	A. Erman.
Gransele .	65	0	—		—	2, 60	Wahlenberg[27].
Ochotzk . .	59	20	160	54	—	2, 50	A. Erman.
Perm . . .	58	0	74	4	30	2, 50	A. Erman.
Wadsöe . .	70	15	47	32	—	2, 20	Hellant[37].
Lyksele . .	64	30	—		100	2, 00	Wahlenberg[27].
Beresow . .	63	54	82	34	—	2, 00	A. Erman.
Bogoslawsk	60	0	80	0	103	1, 88	Kupfer[10].
Werchne-Udinsk . .	51	48	125	22	300	1, 88	A. Erman.
Poworotnaja Sopka .	57	12	177	16	271	1, 88	A. Erman.
Store, Windeln	65	45	—		177	1, 80	Wahlenberg[27].
Troitzko Ssawks bei Kiächta .	50	24	124	10	450	1, 76	A. Erman.
Enontekis .	68	30	41	30	267	1, 70	Wahlenberg[38].

Warme Quellen, Thermalquellen, Thermen, muſs man alle diejenigen nennen, deren Temperatur nicht durch die bei-

36 Kotzebue Reise. Bd. III. S. 165.
37 Schwed. Abhandl. 1753. Bd. XV. S. 319.
38 Flora Lapp. p. LI.

Digitized by Google

den angegebnen Urſachen, nämlich die gleichbleibende mittlere Wärme des Bodens und der Hydrometeore, bedingt wird. Dieſe Beſtimmung iſt nothwendig, um einen feſten Unterſcheidungsgrund derſelben von den kalten zu haben. Es folgt hieraus dann von ſelbſt, daſs eine Quelle an irgend einem Orte eine warme zu nennen iſt, die an einem andern eine kalte ſeyn würde. Kaum ſcheint es mir erforderlich, dieſen keineswegs allgemein angenommenen Unterſchied zu rechtfertigen, welcher ohne Widerrede beſſer begründet iſt, als die Annahme irgend einer beſtimmten Temperatur; denn man würde offenbar eine Quelle von 25° C. in Norwegen eine Thermalquelle nennen, die es unter der Linie aber nicht wäre. Schwerlich wird man einen Gegengrund gegen dieſe Beſtimmungsart daraus hernehmen können, daſs es hiernach ungewiſs bleibe, ob eine Quelle unter die warmen zu zählen ſey, da nicht ſelten die kalten um einen oder ſelbſt einige Grade wärmer ſind, als die mittlere Temperatur des Orts; denn an allen Orten, wo Thermalquellen ſind, giebt es auch kalte und zwar mehrere, aus denen die örtliche Mitteltemperatur der Quellen leicht entnommen und ſomit aufgefunden werden kann, ob die Temperatur einer Thermalquelle über dieſe hinausgehe.

Man findet die warmen Quellen überall in allen Welttheilen, ſowohl auf dem Continente als auch auf Inſeln, in groſser und geringer Entfernung vom Meere, auch in ungleichen Höhen über dem Meeresſpiegel, jedoch erreichen ſie nicht ganz die Höhe der kalten. Am zahlreichſten ſind ſie in vulcaniſchen Gegenden und hängen dort nicht ſelten als intermittirende Springbrunnen mit den vulcaniſchen Thätigkeiten zuſammen, in welcher Beziehung ſie auch bei der Unterſuchung der Vulcane mit berückſichtigt werden müſſen. Bloſs bei dieſen letztern Quellen erreicht die Wärme den Siedepunct, bei allen übrigen iſt ſie niedriger, wie auch faſt nothwendig daraus folgt, daſs das Waſſer ſogleich unter dieſe Temperatur herabſinkt, wenn es von der erhitzenden Urſache entfernt wird. Einige Quellen kommen indeſs der Siedehitze nahe, andere dagegen haben bloſs den Schein einer ſo hohen Temperatur, weil ſie bei ihrem Urſprunge nach Art des ſiedenden Waſſers ſprudeln, was jedoch eine Folge der groſsen Menge des gleichzeitig ausgeſtoſsenen Gaſes iſt. Dieſes ſieht man

Digitized by Google

namentlich in Wiesbaden [1], bei einer heiſsen Quelle auf Ceylon, die viel Stickgas ausstöſst [2], und bei vielen andern, selbst kalten Quellen.

Unter die warmen Quellen gehören nach der aufgestellten Bestimmung auch die Salzquellen, mindestens die meisten derselben, ungeachtet ihre Temperatur die mittlere der Orte nicht merklich übersteigt und nicht füglich bedeutend über diese hinausgehn kann, weil sie dadurch entstehn, daſs das hydrometeorische Wasser zu den in ungleichen Tiefen vorhandenen Salzstöcken oder Salzlagern hinabdringt und mit dem aufgelösten Salze in ungleichem quantitativen Verhältnisse verbunden wieder emporquillt. Hiernach müſste ihre Temperatur derjenigen der sogenannten kalten gleich seyn, und wenn sie hierüber hinausgeht, so scheint die Ursache hiervon nur in zwei Bedingungen liegen zu können, nämlich zuerst in der Auflösung des Salzes und zweitens in der gröſsern Tiefe, worin meistens die Salzlager angetroffen werden. Die erste dieser beiden Ursachen müſste eigentlich das Gegentheil bewirken, weil bei der Auflösung von Salzen bekanntlich viele Wärme gebunden wird, die zweite wird dadurch sehr beschränkt, daſs die Tiefe, aus welcher die Soolquellen kommen, im Ganzen nicht sehr bedeutend ist, und es scheint mir daher bei der Möglichkeit einer Mitwirkung noch anderer Ursachen sehr schwierig zu seyn, dieses Problem genügend zu lösen, und zwar um so mehr, da die Temperatur dieser Quellen nicht mit ihrer Tiefe, wohl aber mit ihrer Löthigkeit zu wachsen scheint, wie namentlich Egen [3] gefunden hat. Dieser fand nämlich die Soolquelle aus einem Bohrloche zu Königsborn in Westphalen = 14°,3 C., die eine zu Werl = 15°, eine andere daselbst = 14°,9; die Quelle bei Soest zeigte im September 12°,9, im December 11°,6, die zu Sassendorf im September 13°,2, zwei andere nicht tiefe Brunnen daselbst im September 9°,8 und 9°,7; zwei Brunnen zu Westernkotten 13°,1 und 13°,9; die Quelle zu Rheine 11°,6; zu Rothenfelde 16°,25 bis 16°,9; die aus einem Bohrloche zu Neusalzwerk 15°,75. Alle diese Temperaturen sind im Ganzen con-

1 Neue Schriften d. Gesells. Naturf. Freunde. Bd. III. S. 104.
2 John Davy in Ann. Ch. et Phys. XXIII. 269.
3 Karsten's Archiv. Th. XIII. S. 305.

Digitized by Google

stant, und überhaupt liegt die Wärme jener Quellen zwischen 10°,25 und 18°,25, mithin meistens nicht ganz unbedeutend höher als die mittlere des Bodens. Daſs die Salzquellen zu Goraedschewodik im Caucasus wärmer sind, als sie der Bodentemperatur nach seyn müſsten, liegt wohl an der vulcanischen Beschaffenheit jener mit Thermen reichlich versehenen Gegend[1]. Uebrigens sind die Soolquellen nur selten zur Erforschung ihrer Temperatur untersucht oder vielmehr die Beobachtungen sind nicht bekannt gemacht worden, weil ihre Wärme die mittlere der Orte nur unbedeutend übersteigt und daher die Aufmerksamkeit nicht erregt. Es ist jedoch eine genügende Zahl von Messungen bekannt, um die Thatsache selbst auſser Zweifel zu stellen, wie namentlich schon aus der tabellarischen Uebersicht der Temperaturen der Salzquellen in Deutschland und der benachbarten Länder hervorgeht, welche Keferstein[2] über die Tiefe in rheinländischen Fuſsen, die Temperaturen nach der hunderttheiligen Scale und die Felsarten, woraus sie entspringen, mitgetheilt hat. Zur leichtern Beurtheilung wird übrigens genügen hinzuzusetzen, daſs man die mittlere Temperatur der kalten Quellen im nördlichen Deutschland zu 10°, im südlichen zu 10°,5 und im Elsaſs zu 11° bis höchstens 11°,5 als ziemlich genähert annehmen könne.

Namen der Quellen.	Tiefe rheinl. F.	Temp. C.	Gebirgsart.
1. Preuſsen.			
Greifswalde . . .	34	10	jüngste Formation.
Königsborn in Westph.	492	14,3	grüner Mergel.
Werl	60	15	desgl.
Soest	—	12,5	desgl.
Sassendorf . . .	—	13,2	desgl.
Westernkotten . .	—	13,5	desgl.

1 Trommsdorff Neues Journ. d. Pharm. XII. S. 288.

2 Ann. of Philos. New Ser. T. VII. p. 109. Bei den eben genannten in Westphalen sind die genaueren Temperaturbestimmungen durch Egen aufgenommen und einige andere Angaben, namentlich aus Dr. Stucke's Mineralquellen, hinzugesetzt worden. Dennoch aber macht diese tabellarische Zusammenstellung keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Digitized by Google

Namen der Quellen.	Tiefe rheinl. F.	Temp. C.	Gebirgsart.
Rheine	180	11,6	Gryphitenkalk.
Rothenfelde . . .	—	16,6	desgl.
Neusalzwerk . .	66	15,75	desgl.
Halle	71	15	Muschelkalk.
Schönebeck . . .	280	15	desgl. u. bunt. Sandst.
Stassfurth . . .	—	15	bunter Sandstein.
Kösen	588	18,75	rother Mergel.
Dürrenberg . . .	712	17,5	bunter Sandstein.
Teuditz	451	11,25	desgl.
Kötschau . . .	194	13	desgl.
Artern in Thüringen	—	12,5	desgl.
2. Mecklenburg.			
Sulz	45	11,75	Sandformation.
3. Hannover.			
Rothenfelde . . .	12	17,5	Gryphitenkalk.
4. Lippe-Detmold.			
Salzuffeln . . .	144	11,25	desgl.
5. Churhessen.			
Carlshafen . . .	70	10,6	bunter Sandstein.
Allendorf . . .	104	15	desgl.
Schmalkalden . .	80	16,25	desgl.
Rodenberg . . .	95	12,5	Gryphitenkalk.
6. Hessen-Darmstadt.			
Wimpfen . . .	462	14,7	desgl.
7. Baden.			
Rappenau . . .	590	14,25	desgl.
8. Würtemberg.			
Friedrichshall . .	524	15	Zechstein.
Offenau	560	15	Muschelkalk.
Sulz	350	16,6	desgl.
Kannstadt . . .	—	12,5	Knuper.
9. Baiern.			
Reichenhall . . .	45	10	Kalkstein-Conglomerat.
10. Schweiz.			
Bex	819	10	Schiefer-Formation.
Moutiers	—	37,5	desgl.

Digitized by Google

Namen der Quellen.	Tiefe rheinl. F.	Temp. C.	Gebirgsart.
11. Elſaſs u. Lothringen.			
Dieuze	—	12,5	Gryphitenkalk.
Moiensik . . .	—	13,75	desgl.
Chateau-Salins .	46	17,5	desgl.
Niederbrunn bei Saarbrück	—	18,75	Flötzgebirge.
12. Ungarn.			
Sulze	—	15	

VI. Bestandtheile der Quellen.

Das Quellwasser ist im Allgemeinen rein, wie destillirtes oder wie Regenwasser, weil es im Ganzen durch einen Destillationsproceſs erhalten ist, indem es durch Verdampfung von der Oberfläche der Erde aufsteigt und durch den Niederschlag in den Hydrometeoren wieder zurückgeführt wird. Während es jedoch in den Boden eindringt und sich theils in den unterirdischen Canälen ansammelt, theils fortflieſst, nimmt es von den daselbst vorgefundenen auflöslichen Substanzen auf und wird hierdurch verunreinigt. Die Wasser der kalten Quellen dringen meistens nicht tief in die Oberfläche der Erdkruste ein und nehmen daher auch keine bedeutende Menge aufgelöster Substanzen in sich auf, die jederzeit mit der Beschaffenheit des Bodens, woraus sie entspringen, übereinkommen. Am reinsten sind daher diejenigen Quellen, welche aus dem über Urgebirgsarten gelagerten Sandsteinen entspringen, indem sie gar keine fremdartigen Bestandtheile enthalten, auſser etwas atmosphärische Luft mit einigem Ueberschusse von Sauerstoffgas und wenig kohlensaures Gas, welche Gasarten überall vom Wasser begierig aufgenommen werden. Auſserdem enthalten viele Quellen, hauptsächlich mehrere Thermen, eine bedeutende Menge Stickgas, welches wegen seines mangelnden Einflusses auf die Beschaffenheit des Wassers nur dann beachtet wird, wenn seine Menge sehr bedeutend ist. So finden sich z. B. südöstlich von Hossick in Newyork in einem Umfange von 4 bis 5 Acker Landes drei Quellen, aus denen eine unbestimmbare Menge reines Stick-

gas aufsteigt. Es ist zugleich reichlich in dem das Wasser umgebenden Kiessandbette enthalten, aus welchem es hervorquillt und in Flaschen aufgefangen werden kann, wenn man darauf drückt[1]. In der Regel befinden sich jedoch auf der Oberfläche der Erde, auf welche das Wasser der Hydrometeore fällt, einige organische Substanzen, bei weitem zum gröſsten Theile aus dem Pflanzenreiche bestehend, wovon einiges dem Quellwasser mitgetheilt wird. Die Menge dieser Stoffe ist so gering, daſs in der Regel der Geschmack dadurch nicht verändert wird, allein es liegt hierin die Ursache, daſs das auf den Schiffen in Tonnen aufbewahrte und das in Cisternen gesammelte Wasser anfangs zu gähren beginnt, sich wenig trübt und einen unangenehmen Geschmack annimmt, bis der Rest der organischen, durch Gährung zersetzten Substanzen niederfällt und das Wasser vollkommen rein zurückbleibt. Ist die Menge der organischen Substanzen gröſser oder wird sie durch die Aufbewahrungsgefäſse vermehrt, so tritt eine Art fauliger Gährung ein, welche das Wasser übel riechend und schmeckend macht. Das ganz reine Wasser hat gar keinen Geschmack, ist also fade, zum Waschen und zum Kochen der Speisen am meisten geeignet, der Gesundheit auf keine Weise nachtheilig, zum Trinken aber als völlig indifferent nicht angenehm, läſst sich jedoch durch Zusatz einer sehr geringen Quantität von Kochsalz angenehmer machen.

Das schlechteste und unreinste Wasser liefern diejenigen kalten Quellen und Brunnen, die in flachen Gegenden aus den eindringenden meteorischen Niederschlägen gebildet werden. Enthält die Erdoberfläche viel Humus, insbesondre an bebauten und bewohnten Orten, so löst das Wasser eine beträchtliche Menge der vorgefundenen, in Zersetzung begriffenen, organischen Substanzen auf, und obgleich die gröbern Theile durch Filtration um so mehr abgesondert werden, je tiefer das Wasser vor seiner Vereinigung in Quellen oder weit öfterer in Brunnen herabsinkt, so bleibt doch stets einiger Antheil zurück, welcher dem Wasser einen unangenehmen Geschmack ertheilt und es für die Gesundheit nachtheilig macht. Am auffallendsten findet man dieses bei Brunnen in Moorgegenden, weswegen man diese Wasser bald durch den Ge-

1 Edinb. Phil. Journ. VII. p. 387.

Digitized by Google

schmack unterscheidet und zur bessern Ausscheidung der verunreinigenden Substanzen zum Filtriren seine Zuflucht nimmt [1], wie dieses namentlich in Paris geschieht. Diejenigen Quellen, welche aus kalkhaltigen Lagerungen kommen, führen eine gröſsere oder geringere Menge kohlensaurer, salzsaurer oder schwefelsaurer Kalkerde mit sich, da diese Mineralien in geringer Quantität im reinen Wasser auflöslich sind. Enthält das Wasser eine gröſsere Menge Kohlensäure, so unterstützt diese die Auflösung des kohlensauren Kalks, die Auflösung ist reicher, aber beim Austritte an die atmosphärische Luft entweicht eine Quantität Kohlensäure, ein Theil der Kalkerde fällt hierdurch, ein anderer durch die Verdunstung des Wassers nieder und es entstehn die verschiednen Tropfsteingebilde. Aber auch durch das Sieden wird ein Theil der aufgelösten Erden gefällt und in den Kochgefäſsen, namentlich den metallnen, der Sinterstein, Pfannenstein (oft unrichtig Salpeter genannt) gebildet, welcher in kalkreichen Gegenden nach einiger Zeit zu merklicher Dicke anwächst, meistens durch organische Stoffe, namentlich Erdharz, braun oder braunschwarz gefärbt ist und durch Klopfen des Metalls erst abgelöst, dann fortgeschafft wird. Befinden sich auflösliche Salze, salpetersaure, salzsaure, schwefelsaure u. a. in den Lagerungen, durch welche das Wasser der Quellen dringt, so nimmt dasselbe einen Theil davon auf, welcher oft so bedeutend ist, daſs das Wasser dadurch untrinkbar wird. Bei der sehr allgemeinen Verbreitung des Kochsalzes findet sich dieses am häufigsten in den Wassern der Brunnen, und man darf annehmen, daſs das Wasser nur selten ganz rein davon ist. Die Wasser dieser Art sind zum Waschen und zum Kochen der Speisen, wie auch überhaupt zu technischen und ökonomischen Zwecken, minder geeignet, eine geringe Menge von Salzen und Erden, insbesondere aber eine reichlichere Quantität absorbirter Kohlensäure, macht es dagegen für den Geschmack angenehmer, der Gesundheit aber nicht nachtheilig, vielmehr wirkt die letztere durch ihren Reiz auf die Verdauungsorgane wohl vortheilhaft. Die gewöhnlich dem übrigens klaren Quellwasser beigemischten Substanzen sind demnach etwas Gerbestoff, Erdöl, deren gröſsere Menge in Moorgegenden eine etwas gelbe, ins Bräunliche spielende Farbe

1 Vergl. *Filtriren.* Bd. IV. S. 245.

Digitized by Google

ertheilt, einige vegetabilische Substanzen, mineralische Salze und hauptsächlich Kalkerde, die sich nach längerer Zeit an den Wandungen der Gläser ansetzen und diese trüben.

Enthält das Wasser der Quellen eine gröſsere Quantität beigemischter Substanzen, so gehören sie zu den mineralischen, den *Mineralquellen*, die man wegen ihres Einflusses auf die Gesundheit auch Heilquellen zu nennen pflegt, jedoch rechnet man zu diesen auch solche heiſse Quellen, deren Wasser so rein als das gewöhnliche ist. Die Temperatur der Mineralquellen übertrifft bei der Mehrzahl derselben die mittlere der in ihrer Gegend befindlichen reinen, ist stets gleichbleibend, und diese gehören also zu den Thermen; einige sind jedoch nicht wärmer, vielmehr sollen wenige sogar eine noch geringere Wärme haben. Zur Uebersicht derselben[1] scheint es mir am zweckmäſsigsten, sie nach denjenigen Bestandtheilen zu ordnen, die ihren hervorstechenden Charakter bezeichnen und meistens Veranlassung zu ihrer Benennung gegeben haben, dann ihre sonstigen wesentlichen Bestandtheile, wenn solche vorhanden sind, ihre Temperatur und die Gebirgsart, woraus sie entspringen, hinzuzufügen, soweit dieses alles bis jetzt bekannt ist[2], wobei jedoch die bereits genannten Soolquellen oder Kochsalzquellen zu übergehn sind.

1. *Chemisch indifferente Quellen* oder heiſse Quellen von süſsem Wasser giebt es in allen Welttheilen und sie entspringen insgesammt entweder aus vulcanischen oder aus Urgebirgsarten, wie hauptsächlich v. Humboldt[3] zuerst aufgefunden und ungeachtet der ihm gemachten Einwendungen bestimmt behauptet hat, andere aber gleichfalls bestätigt haben, unter denen bloſs Brongniart[4] genannt werden möge. Mit

1 Die hier folgende Uebersicht ist auf keine Weise vollständig, auch scheint mir dieses hier unnöthig zu seyn. Ungleich vollständigere Tabellen giebt Keferstein in: Zeitung für Geognosie u. s. w. 1827. St. IV. S. 1 bis 60. St. VI. S. 1 bis 28.

2 Eine alphabetisch geordnete, hier benutzte, tabellarische Uebersicht giebt C. Stucke in: Abhandlung von den Mineralquellen im Allgemeinen und Versuch einer Zusammenstellung von 880 der bekannteren Mineralquellen und Salinen Deutschlands, der Schweiz und einiger angrenzenden Länder. Cöln 1831. kl. Fol.

3 Reisen. D. Ueb. Th. III. S. 42.

4 Histoire naturelle de l'Eau. p. 23.

Digitized by Google

Ausschluſs derjenigen, welche durch ihr Verhalten den innigsten Zusammenhang mit den Vulcanen zeigen und daher mit diesen zugleich am schicklichsten untersucht werden, sind folgende die bekanntesten.

In Europa verdienen vorzüglich die auf Island erwähnt zu werden, deren nähere Beschreibung ich jedoch für die Untersuchung der Vulcane vorbehalte. Auf gleiche Weise hat auch Lichtenau, nahe bei der Insel Onartok in Grönland, drei heiſse, nicht näher bekannte Quellen[1]. Bei Kappenhardt im Würtemberg'schen entspringt eine Therme von 23°,75 C. aus Granit, die Temperatur des Zellerbads, gleichfalls in Würtemberg, ist nicht bekannt, Liebenzell bei Wildbad hat 24°, das Hubbad in Baden 36° und kommt aus Granit, zu Wolkenstein im sächsischen Erzgebirge entspringt eine nur wenig Natron enthaltende Therme von 30° aus Thonschiefer mit Basalt, Wildbad im Würtemberg'schen und Wildbad-Gastein in Steiermark sind beide chemisch indifferente, aus Granit entspringende Quellen, erstere von 35°, letztere von 48°,75 Temperatur. Die aus Granit entspringende Therme zu Badenweiler hat 25°, zu Hubbad 36°; die zu Bude bei Chemnitz in Sachsen gleichfalls aus Granit hervorkommende hat 70°, desgleichen die aus gleicher Felsart entspringende zu Krapin in Mähren 37°,5; die von Martini Bagno und von Petersthal in der Lombardei dagegen entspringen aus Gneis, erstere von 47°,5, letztere von 37°,5. Auf gleiche Weise giebt es auſser dem bekannten Teplitz in Böhmen noch eine Therme gleiches Namens unweit Villach in Kärnthen, eine zweite bei Neustadt in Krain, eine dritte bei Cilly in Steiermark, welche aus Thonschiefer, Glimmerschiefer und Granit entspringen, eine vierte unweit Trentschin in Ungarn und eine fünfte nicht weit von Warasdin in Croatien von 57°,5. In Ungarn ist auſserdem die Therme zu Glashütte, aus Granit kommend, von 53°,75 und in Siebenbürgen die bei Vatz von 31°,25. In der Schweiz giebt es einige und zwar berühmte Thermen, zu Leuk aus Alpenkalk von 50° und zu Naters aus gleicher Felsart; zu Massino und St. Martino, beide aus Granit, erstere von 33°,75, letztere bis 47° C.; die Temperatur der Therme zu Onsernone in Tessino ist wenig bekannt, desto berühmter aber ist Pfeffers oder Pfäfers in St. Gallen wegen seiner wahrscheinlich

---

1 Egede's Tagebuch u. s. w. S. LXIV.

aus Lias entspringenden Therme von 44° C. Bei Luxevil im Dep. Haute-Saone entspringt eine Therme aus Granit mit übergelagertem Sandstein von 57° C., die zu Mont d'Ore aus Granit hat 54° C., die zu Bourbonne les Bains aus Jurakalk über Granit kommende hat 71°,25; die zu Chaudes-Eaux und von Vecoux, beide in den Vogesen und aus Granit entspringend, haben 24° C.; die zu St. Gorraise[1] hat 35° bis 36°; die von Saute de Pucelle 34°; die zu Chaudes-Aigues[2] im Departement du Cantal haben 70° und 80°, sind denen zu Plombières sehr ähnlich und werden kaum zu Bädern, destomehr zum Heizen der Häuser und zu technischen Zwecken benutzt. Andere findet man zu Dax im Departement des Landes, zu Oleron bei Pau, zu Encausse bei St. Gaudens und sonst häufig an der Pyrenäen-Kette. Die zu Caudies unweit Pergignan hat 27°,5 Wärme.

Die Therme zu Bath in England gehört wohl nicht zu den chemisch indifferenten, indeſs sind mir ihre Bestandtheile nicht genau bekannt, und ich bemerke daher nur, daſs sie 40°, nach Canton[3] sogar 50° Wärme hat. Auſserdem gehört die zu Clifton und die zu Buxton unter die bekanntesten in England. Italien ist sehr reich an Thermen, deren Gehalt mir jedoch nicht bekannt ist. Auſser den vielen, welche Dolomieu auf Lipari und Volcano fand, gehören dahin hauptsächlich die von Albano, 30° bis 50° warm, die Schwefelquelle Acqui Piemont 51° bis 64°; die von Castelamare, meistens 40°; von Guitara 35° bis 54°; die von Lucca 30° bis 54°, nach Franceschi[4] stets 53°,75; von St. Giulieno 31° bis 38° und von Sardara 44° bis 50° C. warm[5]. Die heiſse Quelle von Pisa hat 43°,75 C. Wärme[6]. Bei Abano ist eine schon den Römern bekannte Schwefel-Therme, so reich, daſs sie gleich nach ihrem Ursprunge ein Mühlrad treibt[7], und die Piscarelli des Agnano-Sees haben sogar 93° C. Wärme[8].

---

1 Bakewell in Phil. Mag. and Ann. III. 14. Poggend. Ann. XII. 511.
2 Journal of the Royal Inst. N. II. p. 417.
3 Phil. Trans. LXVII. 203.
4 Igea dei Bagni. Lucca 1820. 2 Bde. 8.
5 Paganini in Brandes Archiv. XXIX. 176.
6 Brunner in Kastner Archiv. XVIII. 347.
7 Otto Hydrographie. S. 120.
8 v. Humboldt Reisen. D. Ueb. Th. III. S. 145.

In Asien giebt es viele heiſse, meistens mineralische Quellen, namentlich die in einem nicht sehr groſsen Districte vereinten Soolquellen, alkalische, Sauerbrunnen, Schwefelwasser, Stahlwasser und Seifenwasser zu Goraedschewodsk oder Piatigoria im Caucasus[1], welche zu bequemen, an Pracht die europäischen Anlagen der Art noch übertreffenden, Badeorten eingerichtet sind. Ihre Temperatur ist zwischen 15° und 46° C., der meisten zwischen 25° und 38°, und übertrifft daher die der dort gleichfalls vorhandenen, bereits erwähnten Salzquellen[2]. Einige derselben sind untersucht durch Neljubin[3], z. B. die Schwefelquelle von Maschuka, deren Temperatur 27° bis 46° C. beträgt. Andere heiſse Quellen an der Turca[4] entspringen aus Gneis und haben 56° C. Wärme; zu Diadima, etwa 6 Meilen von Bajazid am obersten Theile des Euphrat, sind auſser Säuerlingen und Schwefelquellen auch heiſse, zum Theil im Flusse selbst[5]; Kamtschatka hat heiſse Quellen in Menge[6], am bekanntesten aber sind die von Urijino in Japan, welche Siedehitze haben[7]. In China zu Yom-Mack, nicht weit von Macao unter 22° 24′ N. B. und 113° 28′ O. L. von Greenwich, befindet sich neben Granitbergen eine sumpfige Gegend von etwa einer engl. Quadratmeile Flächeninhalt mit mehreren heiſsen Quellen, unter denen drei sich vorzüglich auszeichnen, deren Temperatur bei der einen 56°, bei der andern 56° und bei der dritten 86° beträgt[8]. Zwei heiſse Quellen, die eine bei Pinnarkoon von 46°,5, die andere bei Loorgoota von 71°, zuweilen aber bis 85°,5 steigend, enthalten nach Turner's[9] Analyse nur wenige mineralische Bestandtheile. Höchst interessant sind die heiſsen Quellen, welche Hodgson mitten in den Himalaya-Gebirgen in der Nähe des Jumna-Flusses antraf, deren eine sich durch ihren Dampf

---

1 Berghaus Ann. der Erd-, Völker- und Staatenkunde. Bd. V. S. 342.

2 Trommsdorff Neues Journ. d. Pharm. XII. 288.

3 Kastner Archiv. XIII. 465.

4 Hertha 1828. März. Zeitung. S. 93.

5 Zaremba in Magaz. für die neu. Geschichte d. evang. Missions- und Bibel-Gesellschaft 1831. Heft 3. S. 449.

6 Kotzebue Reisen. S. 3.

7 A. v. Humboldt Reis. D. Ueb. III. 166.

8 Livingstone in Edinb. Phil. Journ. N. XI. p. 156.

9 Edinb. Journ. of Sc. N. XVII. p. 95.

Digitized by Google

ein groſsartiges Gewölbe in dem dortigen beständigen Schnee gebildet hatte; ihre nicht genau gemessene Temperatur muſs 70° C. übersteigen [1]. Inzwischen ist die Anwesenheit heiſser Quellen in jenen Gebirgen, die so zahlreiche Spuren der Vulcaneität zeigen, gar nicht zu verwundern, und man hat daher auch mehrere dort gefunden von ungleicher Temperatur, eine namentlich zu Buddreenaut von 59° Wärme [2].

Vom Africanischen Continente ist mir nur eine einzige Therme bekannt geworden, die jedoch zugleich im Allgemeinen unter die gröſsten und wichtigsten gehört, nämlich die auf dem Cap der guten Hoffnung. Nach Lichtenstein [3] entspringt sie am Fuſse eines Gebirgs, fällt in ein Bassin von 40 Quadratfuſs Fläche und ist so reich, daſs sie in jeder Minute 4 Oxhoft Wasser von 82° C. liefert; nach Burshel hat sie jedoch nur 60° Wärme. Das Becken der Quelle ist mit Sand bedeckt, rund umher mit Granitblöcken umgeben und über ihr liegt ein Thonschieferlager.

America, so reich an Vulcanen, hat hiernach auch eine groſse Menge und sehr bedeutende heiſse Quellen, deren genauere Kenntniſs wir gröſstentheils den gründlichen Forschungen des berühmten Reisenden A. von Humboldt [4] verdanken. Die des Berges Brigantin bei Nueva Barcelona haben 43°,2 Wärme; die von Mariara in den Thälern von Turbaco kommen aus einer Schlucht in Gneis und granathaltigem Glimmerschiefer, worin sich Trichter von verschiedener Tiefe über einander liegend befinden. In den untern Trichtern ist das Wasser wärmer, so daſs die Temperatur desselben zwischen 36° bis 59° C. beträgt, alle Quellen in einen einzigen Bach vereint aber 48° Wärme zeigen. Die schwefelwasserstoffgas-haltigen Quellen von Las Trincheras zwischen Porto-Cabello und Valencia entspringen fast in der Bergkette selbst am nördlichen Abhange, aus grobkörnigem Granit, haben 90°,4 Wärme und bilden einen kleinen Fluſs, welcher zur Zeit der gröſsten Trockenheit noch 2 Fuſs tief und 18 Fuſs breit ist. Das Wasser setzt überall Ueberzüge von kohlensaurer Kalkerde ab und

1 Edinb. Phil. Journ. N. XVII. p. 13 ff.
2 Edinb. Journ. of Sc. N. XIII. p. 55.
3 Reisen. Bd. I. S. 239.
4 Dessen Reisen. D. Ueb. Bd. III. S. 46. 145. 167.

Digitized by Google

muſs also über Lager von Urkalk kommen, welcher im Gneis und Glimmerschiefer der Küsten von Caracas häufig vorkommt. Auch in der Sierra Nevada de Merida finden sich siedend heiſse Quellen. Viele heiſse Quellen, einige siedende und mehrere als Fontainen springend, meistens reine, einige von salzhaltigem, auch schlammigem und trübem Wasser, sind in groſser Zahl vereinigt auf einer Ebene neben dem Mexicanischen Dorfe Ystlan im Staate Machaocan[1]. Ferner trifft man Asphaltquellen, periodisch springende Quellen siedenden Wassers und Salsen neben mächtigen Lagern Steinsalz in der Nähe des Vulcans Antuco in Chile[2]. Boussingault und Rivero[3] haben viele heiſse Quellen in der Nähe der Vulcane der Cordilleren aufgesucht und ihre Bestandtheile durch Analyse bestimmt. Dahin gehören am Tolima die Schwefelquelle von Juan auf 12000 F. Höhe und von 32° C. und die von Toche in Quindiu auf 3000 F. Höhe von 35°,5 C.; am Purace die Schwefelquelle Agua tibia auf 12000 F. von 36° und von Coconuco 7500 F. hoch 72°,8 warm; am Vulcan von Pasto die von Pandiaco auf 7725 F. Höhe von 36° Temperatur; am Cumbal eine Quelle, worin Eier hart werden; am Antisana die Eisenquelle bei Lysco auf 10650 F. Höhe von 27°,2; am Catopaxi von 36°,7 C., am Tunguragua die bei Los Baños von 54°,5 auf 5727 F. Höhe.

Auch auf den vulcanischen Inseln fehlen die heiſsen Quellen nicht, vielmehr findet man sie daselbst sehr häufig, z. B. auf der azorischen Insel St. Miguel von 36°, 88° und 100° Wärme[4]. Forster[5] fand auf der Insel Tanna heiſse Quellen von 88° Wärme und am Meerbusen Ferri auf Guadaloupe ist eine solche, worin Eier in kurzer Zeit hart gesotten werden[6], auf Ceylon ist eine an Stickgas sehr reiche Therme[7] und auf Amsterdam giebt es deren mehrere, welche Siedehitze haben[8].

---

1 Lyon's Journal of a Residense and Tour in Mexico.
2 Pöppig in Froriep Notizen Th. XXXI. S. 40.
3 Ann. Ch. Phys. LII. 181.
4 Webster in Ann. of Phil. N. S. III. p. 316.
5 Bemerkungen S. 36.
6 Labat Voyage. T. I.
7 J. Davy in Ann. de Chim. et Phys. XXIII. 269.
8 Macartney in Bibl. Brit. VI. 188.

Digitized by Google

2. Mit Kohlensäure mehr oder weniger stark geschwängerte, sogenannte *Säuerlinge*, giebt es sehr viele und von verschiednen Temperaturen, auch werden dieselben durch anderweitige, in ungleichen Mengen vorhandene, Bestandtheile zu eigentlichen Mineralwässern. Die Wärme ist übrigens der Aufnahme von Kohlensäure durch Wasser nicht günstig, vielmehr treibt sie dieselbe aus, inzwischen behauptet dennoch L. von Buch[1], daſs die sauern Quellen allezeit wärmer sind als die süſsen an den nämlichen Orten, weil die Kohlensäure, vom heiſsen Wasser der meistens in der Nähe befindlichen Thermen zurückgestoſsen, das sich mit ihr verbindende kalte Wasser erwärmt. Im Ganzen aber werden die Säuerlinge als kalte Quellen betrachtet, und man hat daher ihre Wärme, wo sie nicht in sehr seltnen Fällen die Aufmerksamkeit erregte, unbeachtet gelassen, weswegen die Beobachtungen hierüber fehlen. Die meisten derselben kommen aus ältern Gebirgsarten, und sehr häufig findet man deren mehrere in geringer Entfernung von einander beisammen, auch sind manche Säuerlinge wegen ihrer geringern Heilkraft nur wenig bekannt. Um keine der merkwürdigern zu übergehn, theile ich diejenigen mit, welche Stucke der Aufnahme werth hielt, und einige andere sonstig bekannte. Eine überwiegend groſse Menge findet sich in Rheinpreuſsen, sämmtlich aus Thonschiefer entspringend, namentlich zu Ahrweiler, Bauler, Bell, Bettenfeld, Büdesheim, Cradenbach, Dockweiler, Dörth, Ehrenbreitstein, Eitelsbach, Erlenbach, Ersch, Essingen, Ettingen, Fasterak, Flosbach, Frankirch, Geisfeld, Gillenfeld, Hambach, Heckenmünster, Hermeskiel, Kasel, Kesten, Laach, Leiningen, Lissingen, Longvich, St. Mathias, Meisburg, Merlesdorf, Mindesleitschen, Mülleborn, Nachtschein, Neuenstein, Nicknich, Niederstadtfeld, Oberehe, Obermendig, Olsheim, Pelm, Rascheid, Raubenach, Reichen, Reinhausen, Reuth, Ringen, Riol, Rockeshill, Salm, Schönberg, Steinborn, Thron, Treis bei Wittlich, Wallenborn, Walersheim, Wahlscheid, Wassenach, Wehr, Weiler, Wilzenburg, Winningen, Wittlich und Zissen. Die in Westphalen dagegen kommen aus andern Gebirgsarten, namentlich die von Schöneberg unweit Drieburg, von Schmechte und Her-

---

1 Physische Beschreibung der Canarischen Inseln. Berlin 1825. S. 68.

ste aus buntem Sandstein, die von Vlotho und Wöbbel aus Muschelkalk und die von Bünde aus Keuper. Wegen des am Rhein vorherrschenden Thonschiefers entspringen auch die zahlreichen Säuerlinge im Nassauischen aus dieser Felsart, nämlich zu Berlach, Buch, Fischbad, Grebenroth, Holzhausen, Marienfels, Montabauer, Münchenroth, Nassau, Naſsstädten, Niederreiſsen, Oberlahnstein, Ramscheid, Rückertshausen, Sauerthal, Scheuren, Schiesheim, Springen und Wolmerscheid. Sämmtliche reine Säuerlinge in Kärnthen entspringen gleichfalls aus Thonschiefer, zu St. Barbara, Imnichen, St. Leonhard, Neuschütz und Weisbach. In Salzburg entspringen bloſs die zu Burgweese, Weichselbach und Zellerbad aus Thonschiefer, dagegen die zu Aigen, Badgraben und Unken aus Alpenkalk.

Inzwischen sind keineswegs, wie es nach der groſsen Zahl der eben genannten fast scheinen könnte, die Säuerlinge ausschlieſslich an Thonschiefer gebunden, aus welchem auch die Quellen von St. Amand in Belgien und von Perneg in Steiermark entspringen, vielmehr folgt schon aus ihrer sehr allgemeinen Verbreitung, daſs sie aus den verschiedenartigsten theils älteren theils jüngeren Gebirgsarten hervorkommen müssen. In Schlesien entspringt bloſs die von Möltsch aus Thonschiefer, dagegen der Carlsbrunn aus Glimmerschiefer, die Säuerlinge von Altheide, Hartau, Brodendorf und Gellenau aus Quadersandstein, von Reichenau aus Steinkohlenformation und von Weiſskirch aus Uebergangskalk. Die in Böhmen kommen fast sämmtlich aus Granit, nämlich von Dörlles, Lappertsdorf, Duppa, Königswarth, Petersdorf und Radisfort, bloſs die von Gieshübel aus Thonschiefer. Die Säuerlinge der Schweiz sind zu Pleif im Lugnitzer Thale und Willingenbad aus Thonschiefer, zu Schuols aus Granit; zahlreicher sind sie in Tyrol, nämlich zu Aubad, Brenz und Landis aus Thonschiefer, zu Axans, Egerbad, Oberperfuſs und Irinsenbad aus Granit, Eimbrickerbad und Lotterbad aus Alpenkalk, Troitscherbad endlich aus Porphyr. In Krain kommt der Säuerling zu Billichgrätz aus Alpenkalk, in Steiermark der zu Perneg aus Thonschiefer, in Mähren der zu Pyrawand aus Granit, in Sachsen die zu Reiboldsgrün und Reinsdorf aus Thonschiefer, zu Raschau aus Gneis, zu Schandau aus Quadersandstein. Baiern hat einige Säuerlinge, hauptsächlich in seinen

Digitized by Google

nördlichern Provinzen, nämlich zu Condra, Köditz und Langenau in Thonschiefer, zu Neustadt bei Kissingen und Sinnberg im bunten Sandstein und zu Groſsschattengrün in Glimmerschiefer; reicher daran ist Würtemberg, wo sie insgesammt aus jüngern Felsarten entspringen, nämlich zu Bergfelden, Rothweil, Mittelstadt und Neustadt bei Waiblingen aus Keuper, zu Berlingen, Börstingen, Möſsingen, Mühringen, Obernau, Grieſsbach, Kleinengestein und Salzau aus Muschelkalk, und zu Jebenhausen aus Lias. Churhessen hat die Säuerlinge zu Kronberg, Friedberg, Ober- und Nieder-Roſsbach und Vilbel aus Thonschiefer, zu Visebeck und Volkmarsen aus buntem Sandstein. Einzelne endlich sind zu Fürstenlager in Hessen-Darmstadt aus Granit, zu Homburg aus Thonschiefer, zu Kleinern im Waldeck'schen aus Thonschiefer, zu Schieder in Lippe-Detmold aus Muschelkalk, zu Rabb bei Trient, zu Bartfeld, Schlangendorf und Ussek in Ungarn wahrscheinlich aus Urgebirge. Die reichsten Säuerlinge giebt es ohne Zweifel auf Island, denn sie sind von solcher Stärke, daſs sie berauschen[1], und dabei auſserordentlich reich, namentlich die am westlichen Theile der Insel, zu Raudamel, Staderstadt, Budum, Frodarheide, Oluſswik, Hrisakot und Eydum[2].

Unter allen diesen zahlreichen Säuerlingen finde ich bloſs von folgenden wenigen die Temperaturen bestimmt: Friedberg in Hessen 12°,5; Niederroſsbach ebendaselbst 12°,5; Kleinengestein im Würtemberg'schen 11°,25; Neustadt bei Waiblingen ebendaselbst 13°,75; Oberperfuſs in Tyrol 12°,5; St. Amand in Belgien von 25°, welche insgesammt die oben erwähnte, durch L. von Buch aufgestellte Behauptung rechtfertigen, der Säuerling zu Uhlmühl bei Verden im Hannöver'schen soll jedoch nur 5° C. Wärme haben, was vermuthlich auf unrichtigen Messungen beruht.

3. Die Säuerlinge enthalten oft noch eine nicht unbedeutende Menge anderweitiger mineralischer Substanzen, die sich gern mit der Kohlensäure verbinden und deren Auflösung im Wasser diese Verbindung befördert. Insbesondere ist dieses der Fall beim Eisen, weswegen sie dann *Eisensäuerlinge*

---

1 Henderson Island T. II. p. 30.
2 Mackenzie Travels. 2d. ed. p. 391.

Digitized by Google

(Stahlwaſser) genannt und wegen ihrer vermehrten Heilkraft höher geschätzt werden. Sie enthalten auſserdem neben dem Eisen noch Alkalien und alkalische Salze, letztere häufig auch ohne Eisen; die meisten derselben entspringen aus Urgebirgsarten und ihre Temperatur ist sehr ungleich, im Ganzen nicht hoch und zuweilen sogar unter der mittlern der Orte, wenn man anders die Messungen als zuverlässig ansehn darf[1].

In Preuſsen sind bloſse Eisensäuerlinge zu Rodenbach und Andernach, aus Thonschiefer entspringend, zu Alach bei Erfurt, von nur 5° Wärme, zu Kornhausen bei Halberstadt, aus Braunkohlen entspringend, zu Neustadt-Eberswalde und Potsdam, beide aus Diluvium, und die schwache Quelle bei Ruhla. Säuerlinge mit Salzen sind die Quellen zu Birresborn und Stockdreis, mit kohlensaurem Natron, erstere aus Thonschiefer, letztere aus Basalt; zu Brohl von 15° Wärme, natronhaltig, aus Grauwacke kommend; zu Dreisader und Geroldstein, beide mit kohlensaurem Natron, erstere aus Basalt, letztere aus Thonschiefer entspringend; zu Hulscheswagen und Tönnisstein, beide mit Natron und aus Thonschiefer kommend. Eisensäuerlinge mit kohlensaurem Natron sind zu Möllendorf im Mannsfeld'schen von 14°,25 Wärme, zu Malmedy und zu Godesberg, aus Thonschiefer; mit kohlensaurem Talk zu Geroldsgrün; mit Kalksalzen zu Lambscheid und Obermennig aus Thonschiefer, und zu Lauchstädt von 10° Temperatur aus buntem Sandstein; mit Kochsalz zu Schwelm von 9°,25 aus Thonschiefer; mit schwefelsaurem Talk zu Belberg bei Magdeburg; mit schwefelsaurem Kali und salzsaurem Natron zu Erfurt aus Keupersandstein von 13°,75 Temperatur. In Westphalen sind Eisensäuerlinge zu Brakel und Dryburg aus buntem Sandstein; zu Dankersen, Gripshofen und Tadenhausen aus jüngerem Flötzgebilde, und zu Godelsheim mit salzsaurem Natron. In Schlesien ist der schwache Eisensäuerling zu Charlottenbrunn und Hermannsbad bei Muscau, letztres mineralischen Schlamm absetzend; mit kohlensaurem Natron zu Cudowa von 9°,25 und zu Flinsberg von 20°, beide aus Granit entspringend; die Eisenquelle zu Altwaſser kommt aus Steinkohlensandstein, enthält kohlensaures Natron, Kalk und

1 Die bloſs eisenhaltigen oder Eisensalze führenden Quellen übergehe ich.

Digitized by Google

Talk und hat 6°,25 Wärme; natronhaltige Säuerlinge endlich sind zu Salzbrunn aus Thonschiefer und zu Reinerz aus Granit entspringend. Böhmen hat ausgezeichnete Säuerlinge, den natronhaltigen zu Liebwerda von 10° Wärme aus Granit; den Franzesbrunn zu Eger, reich an Natronsalzen von 11°,25 bis 12°,5 Temperatur aus Glimmerschiefer; den reichen Eisensäuerling zu Buchsäuerling aus Granit und den berühmten Josephsbrunnen zu Bilin, einen Eisensäuerling mit viel kohlensaurem Natron von 15° aus Gneis entspringend. In Sachsen giebt es nur unbedeutende Quellen dieser Art, die schwachen Eisenwasser zu Tharandt aus Porphyr und das Augustusbad von 9°,3 Wärme; die Säuerlinge mit Natron zu Berggieshübel aus Thonschiefer, zu Sohl aus Porphyr und zu Wiesenbad aus Gneis; die Eisensäuerlinge zu Bibra aus buntem Sandstein; zu Buschbad von 5° Wärme aus Grauwacke; zu Oberbrambach von 7°,5 aus Thonschiefer, und die Eisensäuerlinge mit Natronsalzen zu Elster von 7°,5, zu Liebenstein von 9°,25, zu Schönberg von 6°,75 und zu Unterbrambach von gleicher Wärme, sämmtlich aus Thonschiefer entspringend. Belgien hat viele Eisensäuerlinge, zu Blanchemont, Brue bei Stablo, Chevront, Geremont, Grosflemalle, Hurt, Huy, Pouchon, Stablo, Watrez und die berühmtesten zu Spaa, sämmtlich aus Thonschiefer entspringend.

Im nördlichen Deutschland giebt es noch einige ausgezeichnete Quellen dieser Art. Dahin gehört der Eisensäuerling zu Ottensen in Holstein von 10° aus Diluvium; das Alexisbad zu Anhalt-Bernburg, ein Eisenwasser mit schwefel- und salzsaurem Eisen von 7°.5 aus Grauwacke; der Eisensäuerling zu Köthen aus buntem Sandstein und der zu Helmstädt aus Lias; der Säuerling mit Kalksalzen zu Rehburg im Hannöver'schen, gleichfalls aus Lias entspringend; am berühmtesten unter allen ist aber der Eisensäuerling zu Pyrmont von 10° bis 18°,75 aus buntem Sandstein und der Säuerling mit Kalk- und Talksalzen zu Wildungen von 10°,5 aus Thonschiefer kommend, beide im Waldeck'schen. Hessen-Cassel hat Säuerlinge mit Kochsalz zu Hofgeismar aus buntem Sandstein; zu Schwallheim von 12°,5 aus Thonschiefer und zu Schwelheim von 10° Wärme; dann die Eisensäuerlinge zu Wilhelmsbad von 12°,5 aus Thonschiefer und zu Geismar von 11°,25 mit Kalk- und Talksalzen. In Würtemberg ist zu

Digitized by Google

Ueberlingen ein Säuerling mit Kochsalz von 15° aus Lias, und Eisensäuerlinge sind zu Okarben aus Thonschiefer und zu Göppingen mit kohlensaurem Talk von 10° Wärme aus Keuper entspringend. Ungleich berühmter sind die Nassau'schen Quellen, nämlich die natronhaltigen Säuerlinge zu Fachingen von 10°, zu Lindenholthausen und die Rheingauerquelle, sämmtlich aus Thonschiefer; der salzsaures und kohlensaures Natron haltige Säuerling zu Geilnau von 10°,5 aus Thonschiefer; der Eisensäuerling zu Schwalbach, der berühmte natronhaltige zu Selters und der mit salzsaurem und kohlensaurem Natron zu Dinkhold, sämmtlich aus Thonschiefer entspringend. Baden hat die Eisensäuerlinge zu Griesbach mit kohlensaurem Kali; zu Antogast mit kohlensaurem Natron und Kali, beide von 8°,75 Wärme und aus Granit kommend, und zu Petersthal mit Kalksalzen von 12°,5 aus gleicher Gebirgsart entspringend. In Baiern giebt es einen Säuerling mit Natronsalzen zu Hardeck, aber Eisensäuerlinge zu Hohenberg aus Granit, zu Steben und Wiesen aus Thonschiefer; mit Kalksalzen das Alexandersbad bei Sichersreuth aus Granit; mit kohlensaurem Kalk zu Hambach; zu Bocklet mit schwefelsaurem Natron aus buntem Sandstein und zu Brückenau mit kohlensaurem Natron und schwefelsaurem Talk aus gleicher Gebirgsart entspringend. Säuerlinge in der Schweiz sind zu Bernhardino und Peiden, beide mit schwefelsaurem Natron, ersterer aus Gneis, letzterer aus Granit entspringend; der natronhaltige zu Fideris von 7°,5 aus Thonschiefer; die mit Kalksalzen zu Losdorf von 10°, zu Limpach von 12°,5 und zu Engisstein von 13°,75, beide letztere aus Molasse entspringend; zu Lochbad mit schwefelsaurem und salzsaurem Natron, gleichfalls aus Molasse entspringend, von 11°,25 Wärme; der Eisensäuerling zu Blumenstein, auch aus Molasse, von 10°,5 und der Eisensäuerling mit kohlensaurem Natron zu Belvedere in Graubündten. Ein ausgezeichneter Eisensäuerling endlich mit vorwaltendem schwefelsaurem Kali, aus Gneis entspringend, von 5°,5 Wärme ist zu Rohitsch in Steiermark, und ein kochsalzhaltiger Säuerling von 12° Wärme in Ungarn zu Sulze bei Güssing; desgleichen zu Landek in Tyrol.

4. Der sogenannten *Kochsalzthermen* und der mineralischen Kochsalzquellen giebt es nicht viele, weil die reichhaltigern und an anderweitigen Salzen verhältniſsmäſsig ärmern zu den

Digitized by Google

Soolquellen gezählt werden. Inzwischen sind einige derselben sehr berühmt, z. B. die Kochsalztherme mit wenig Eisenoxyd zu Baden-Baden von 67° bis 75° aus Granit entspringend; Baden in der Schweiz, mit schwefelsaurem Kali und Natron von 40° bis 50° Wärme, aus Molasse kommend; die zu Vals oder St. Peter ebendaselbst aus Granit, von 27°; insbesondere aber die vielen Quellen in Wiesbaden, aus Thonschiefer kommend, von 48° bis 65° Wärme. Nicht eigentliche Kochsalzthermen, aber mineralische Kochsalzquellen sind ferner der Ragozzi und der Pandur zu Kissingen in Baiern, beide reich an Kohlensäure, aus buntem Sandstein entspringend; der Heilbrunn in Baiern, mit kohlensaurem Natron, aus Molasse; die kohlensäurehaltige Kochsalzquelle zu Kannstadt in Würtemberg von 12°,5 Temperatur ans Keuper; die Kochsalztherme zu Balaruc in Frankreich und die kochsalzhaltige Mineralquelle zu Niederbrunn bei Saarbrück von 18°,75 aus jüngerem Flötzgebirge.

5. Sehr gering ist die Zahl der *alaunhaltigen* Quellen, doch giebt es deren zu Bachem am Niederrhein, zu Bath und Crems.

6. *Natronhaltige* Quellen, die wegen ihres Einflusses auf die Haut mitunter auch Seifenwasser genannt werden, sind unter andern die unbedeutenden zu Costen, Turmitz und Cummern in Böhmen und die sehr berühmte Therme zu Teplitz ebendaselbst von 47°,5 Wärme, aus Porphyr entspringend. Kohlensaures Natron haltige Quellen sind die sehr bekannten zu Warmbrunn in Schlesien von 37°,5 Wärme, aus Granit entspringend, und die im Nassau'schen zu Ems von 22°,5; 42°,5 und 50° Temperatur; zu Schlangenbad von 27°,5 Wärme und der berühmte, salzsaures und kohlensaures Natron haltige Säuerling zu Geilnau von 10°,5 Wärme, sämmtlich aus Thonschiefer kommend.

7. Die Zahl der *Bitterwasser* ist gleichfalls nicht groſs. Es gehören dahin die berühmten zu Seidlitz und Seidschütz in Böhmen, beide aus Gneis kommend; desgleichen zu Pülna und Steinwasser, ebendaselbst, erstere mit Glaubersalz, letztere mit salzsaurem Talk, und die berühmte zu Ebsham in Surrey.

8. *Glaubersalzquellen* sind häufiger. Sie finden sich zu Brüx in Böhmen, zu Vippach-Edelhausen in Sachsen mit kohlensaurem Natron, von 5° Wärme; zu Rippoldsau in Ba-

Digitized by Google

den, aus Gneis kommend; zu Roisdorf am Niederrhein, mit kohlensaurem Natron, aus Braunkohlenformation entspringend. Dahin gehören ferner die berühmten Glaubersalzthermen zu Carlsbad mit kohlensaurem Natron von 34° bis 75° aus Granit; zu Plombières in Frankreich mit kohlensaurem Natron von 50° bis 60° aus gleicher Felsart entspringend; zu St. Vincent in Piemont gleichfalls mit kohlensaurem Natron, aus Talkschiefer, und die beiden am Niederrhein zu Kautenbach und Bertrich, erstere von 27°,5 aus Thonschiefer, letztere mit Kalksalzen aus Basalt entspringend und von 32°,5 Wärme.

9. Die *Schwefelquellen* gehören zu den wichtigsten Heilmitteln und sind in groſser Zahl vorhanden, hauptsächlich in der Schweiz. Mit Uebergehung der vielen unbedeutenden sind dort die zu Alveneu, 3120 Fuſs über der Meeresfläche; die zu Egglisau und Waldeck, aus Molasse entspringend; zu Yverdun aus gleicher Felsart von 23°,75 Wärme; zu Wichlerbad aus Alpenkalk; zu Bormio oder Worms von 40° Wärme; die kalkhaltigen zu Ermetswyl, Gelterkinden, Gempelen, Laemmli, Leuk, Henniez und Langenthal, letztere beide aus Molasse entspringend; die gleichfalls kalkhaltige zu Bagnes bei Martiny von 27°,5 aus Alpenkalk; die mit salzsaurem Natron zu Carmiswyl, Bellerive, Bonn aus Molasse kommend und Bex aus Thonschiefer, 10° bis 11°,5 warm; die mit salzsauren und schwefelsauren Salzen zu Moosbad, und zu Schinznacht mit schwefelsaurem Natron und Kali von 31° bis 34° Wärme, beide aus Molasse entspringend. Baiern hat keine sehr berühmte, die unbedeutenden zu Obertiefenbach und Sülzerbrunn, letztere aus Quadersandstein; die zu Aubad; zu Abach aus Quadersandstein; zu Heiligenkreutz aus Kreide, und zu Kondra aus jüngerem Flötzgebirge; die kalkhaltigen zu Gocking und Rosenheim; mit Kalisalzen zu Eschelloh aus Alpenkalk; die bittersalzhaltigen zu Groſsalbertshofen und Kreuth; die mit Natron zu Partenkirchen, beide letztere aus Alpenkalk entspringend; die zu Wipfeld mit Kalksalzen, von 13°,75 Wärme, aus buntem Sandstein; die Kalksalze und Talksalze haltige zu Stinkergraben und die berühmte mit schwefelsaurem Talk, zu Schweighofen aus Quadersandstein entspringend. Die im Würtemberg'schen entspringen insgesammt aus Lias, die zu Bahlingen, Durwangen, Reutlingen, Zaysenhausen, Boll und Berg bei Göppingen, letztere mit salz-

Digitized by Google

saurem Natron. Piemont hat bedeutend heiſse Schwefelthermen zu Viray aus Kalkstein; zu Brida von 36° aus Talkschiefer und zu Salins von $37^\circ,5$ aus Kalk entspringend; ebenso Savoyen zu Didier am Montblanc in 3750 Höhe von 34° bis 44° aus Granit, zu Gervais von $43^\circ,75$ aus Talkschiefer und zu Aix les Bains von 56° aus Jurakalk. In Frankreich sind die berühmten zu Bagnères de Luchon und Barèges, beide in den Pyrenäen, die zu Bagnoles von 45°, zu Lamotte im Dep. Isère von 80°, zu Digne im Dep. des basses Alpes von 50° aus Granit und zu Enghien mit Kalksalzen aus Kreide entspringend. Nassau, sonst so reich an Mineralquellen, hat nur die unbedeutenden Schwefelquellen zu Sironabad mit Kochsalz und zu Weilburg mit Natron. In Preuſsen sind die minder bedeutenden zu Tennstedt und Langensalza im Sächsischen, beide mit Kalksalzen und aus Muschelkalk entspringend; zu Morsleben bei Magdeburg aus Lias; zu Kressowitze in Posen aus jüngerem Flötzgebirge; zu Viestel in Westphalen, mit salzsaurem Natron; zu Burtscheid am Niederrhein von 44° bis 58° und die berühmteste unter allen zu Aachen mit salzsaurem Natron von 46° bis 57° Wärme, beide aus Thonschiefer. In Schlesien entspringen die zu Czarkok, Ribnik und Sophienthal aus jüngerem Flötzgebirge, die mit schwefelsaurem Natron und über 30° warme zu Landek aus Gneis. Im Hannöver'schen sind unbedeutende Schwefelquellen zu Bentheim mit schwefelsaurem Kalk und Natron; zu Winslar bei Rehburg und zu Nordheim, beide mit Kalksalzen, letztere 10° bis $11^\circ,5$ warm, und die stärkere zu Limmer mit salzsaurem Natron, alle aus Lias entspringend. In Hessen ist die einzige, aber sehr gehaltreiche und berühmte, Schwefelquelle zu Nenndorf; in Bückeburg die ihr gleichstehende zu Eilsen, beide aus Lias entspringend, sehr reich und vielen mineralischen Schlamm absetzend, denen sich im nördlichen Deutschland noch die minder gehaltreichen zu Meinberg im Lippe'schen, nebst einem kalkhaltigen Eisensäuerlinge aus Keuper entspringend, zu Doberan in Meklenburg[1], aus Diluvium, und die etwas Gyps haltige zu Berka bei Weimar aus Muschelkalk kommende anreihen lassen. Endlich hat Oesterreich eine

---

1 Hermbstädt Beschreibung und physik. chem. Zergliederung etc. Berl. 1823. 8.

minder bedeutende Schwefelquelle zu Altenburg und die berühmte zu Baden bei Wien mit salzsaurem Natron von 33°,75 Wärme, aus Kalktuff entspringend; Baden eine neuerdings in Aufnahme gekommene schwache Schwefelquelle zu Langenbrücken; Tyrol zu Feldkirch; Gallitzien zu Lubin bei Lemberg von 10°,5 Temperatur, sonstige minder bekannte, die noch in groſsen Zahl vorhanden seyn mögen, nicht zu erwähnen.

10. *Salpeterhaltige* Quellen[1] sind selten, doch giebt es deren viele in Ungarn, und zwar so reichhaltige, daſs sie der Vegetation nachtheilig werden, mehrere sind in Spanien, einige in Italien, namentlich bei Molsetta, in Pegu, auf Ceylon und in Brasilien.

11. *Kupferhaltige* oder Cementwasser enthaltende entspringen aus Bergen mit Kupfervitriol. Solche giebt es zu Neusohl und Schmolenitz in Ungarn; zu Altenberg im Erzgebirge; Fahlun in Schweden, in der englischen Grafschaft Wicklow und beim Flusse Arklow in Irland[2]; bei Lancaster in Pensilvanien und an andern Orten.

12. *Inkrustirende* Quellen oder solche, aus denen eine bedeutende Menge kieselhaltigen Kalksinters niederfällt, giebt es viele. Dahin gehört Carlsbad, dessen Wasser schon binnen 24 Stunden eine beträchtliche Menge Kalksinter absetzt[3]. Die Quelle bei Tours liefert einen alabasterartigen Sinterstein; die Teverone bei Tivoli giebt sehr schöne, weiſse, gewöhnliche Gypsabdrücke an Feinheit und Politur noch übertreffende, Figuren, wenn man Schwefelformen mit Abdrücken einige Zeit hineinhängt. Aehnliche Quellen sind bei Abano im Gebiete von Padua; die Bäder von St. Filipe, welche gleichfalls schöne Figuren geben; eine Quelle bei Lagni im Neapolitanischen und viele andere[4]. Merkwürdig in dieser Hinsicht ist die Quelle von Guancavelica, 30 Meilen von Lima, und noch mehr die neben dem See Urmia in Persien, aus welcher Blasen aufsteigen, deren Hüllen zu einer kalkartigen Rinde erhärten,

1 Ueber diese und solche Quellen, welche Natron, Borax, Fluſssäure, Auripigment u. s. w. enthalten, s. Keferstein Zeitung für Geognosie u. s. w. Jahrg. 1828. St. VI. S. 21 ff.

2 Phil. Trans. XLVII. 500. XLVIII. 94. 181. XLIX. 648.

3 Ueberlacker's systematische Beschreibung des Carlsbader Sinters. Erlangen 1780. fol.

4 Poli Elementi di Fisica. T. IV. p. 115.

woraus beim ruhigen Stehen Marmor gebildet wird, welcher in groſsen Platten gehauen und geschliffen bloſs zum Gebrauche der Könige bestimmt ist[1]. Die Masse der durch die Quellen zu Tage geförderten Substanzen ist so groſs, daſs sie zuweilen ganze Hügel bildet, wie namentlich durch die zu St. Filipe im Toscanischen und nach der Aussage mehrerer Reisenden, namentlich Menge's, häufig auf Island geschehn seyn soll[2], was bei der bekannten groſsen inkrustirenden Kraft der dortigen Quellen selbst wahrscheinlich wird.

13. Die *versteinernden* Quellen, welche vegetabilische Körper mit Kieselerde erfüllen, zuweilen sie zerstören und Kieselsinter an ihre Stelle setzen, haben schon in den frühesten Zeiten die Aufmerksamkeit erregt. Musschenbroek[3] berichtet, daſs bereits Vitruv, Strabo, Plinius und Caesius solche kannten; ferner erwähnt er einen versteinernden Fluſs bei Palimbang auf Sumatra, einen andern in Chili, welcher hineingeworfenes Holz so versteinert, daſs es am Stahl Feuer giebt. In Peru, nördlich von Quito, in der Bucharei und auf Island giebt es solche, ja sogar einer von den Pfählen der Donaubrücke, welche die Römer unter Trajan im Jahre 104 erbauten, wurde bis zu 0,25 Zoll tief versteinert gefunden, als ihn Franz der Erste 1760 herausnehmen lieſs[4]. Merkwürdig hierbei ist, daſs die Kieselerde in solchen Wassern nicht mechanisch fortgerissen wird, sondern völlig aufgelöst vorhanden ist, wie Vauquelin[5] und Klaproth durch ihre Versuche gefunden haben, da sie bei mehrmaligem Filtriren nicht zurückbleibt[6].

14. Unter die interessanten Quellen gehören die erst neuerdings beachteten, deren Wasser eine geringere oder gröſsere Menge von *Schwefelsäure* enthält. Die berühmteste unter diesen ist diejenige, welche von dem jetzt ruhenden

---

1 Aus Ker Porter's und Morier's Reisen mitgeth. durch Kämtz in Schweigg. Journ. LIII. 475.

2 Edinb. Phil. Journ. N. IV. p. 307.

3 Introduct. §. 1430.

4 Kirwan Geol. Essays. Ess. IV. p. 139.

5 Ann. de Chim. T. XXXIX. *Parfaitement dissoute*, heiſst es daselbst.

6 D'Aubuisson Traité de Geog. T. I. p. 57.

Vulcane Idienne auf Java herabflieſst[1]; auch soll es einige solche auf Island geben. Sie kommen allezeit von Vulcanen und ihr Urſprung läſst sich leicht daraus erklären, daſs die aus diesen aufsteigenden Schwefeldämpfe durch ihren Zutritt zum Wasser in diese Säure verwandelt werden. Der Rio Vinagre am Vulcan Puraze enthält gleichfalls nach v. Humboldt[2] eine nicht unbeträchtliche Menge Schwefelsäure.

15. Den Wasserquellen nahe verwandt, oft aber eine eigenthümliche Classe bildend, sind die *Quellen von Naphtha* und *Erdöl*, denen sich das Emporkommen des *Bergtheers* und des *Asphaltes* nebst einigen nahe verwandten Stoffen anreihen läſst. Die feinste Substanz ist die helle, wohlriechende, leicht und mit vielem Ruſs verbrennende Naphtha, welche bloſs bei der Insel Abnheron im caspischen Meere vorzukommen scheint. Inzwischen ist diejenige Naphtha, welche die im Jahre 1803 zu Amiana in Parma bei Josnovo und Varese aufgefundene Quelle in groſser Menge liefert, jener feinen völlig gleich oder nur wenig davon verschieden. Sie ist sehr klar, von weingelber Farbe, von starkem, durchdringendem Geruche, jedoch weniger empyrheumatisch als der von gemeinem schwarzem Bergöl, von 0,83 spec. Gewichte, verflüchtigt sich von Papier, ohne einen Fleck zu hinterlassen, läſst sich ohne Rückstand destilliren, löst Bernstein und Kopal vollkommen auf, womit sie dann trocknende Firnisse giebt, brennt mit einer hellen Flamme, aber vielem Rauche, und wird mit Oel versetzt zur Straſsenbeleuchtung verwandt[3]. Sehr weit verbreitet und häufig in allen Welttheilen vorkommend ist dagegen das dünnflüssige, an der Luft sich allmälig erhärtende, stark riechende, schwarzbraune, mit vielem Ruſs verbrennende Bergöl oder Bergtheer (*petroleum*). Dasselbe quillt meistens mit Wasser, auf welchem es dann schwimmt, zuweilen ohne dasselbe, kommt aus jüngeren Felsarten oder aufgeschwemmtem Lande, meistens in der Nähe von Salzquellen und bedeutenden Braunkohlenlagern, auf deren Anwesenheit dasselbe hindeutet, vorzugsweise aber in vulcanischen Gegenden. Man

1 Phil. Mag. XLII. 182. G. LXXIII. 156.

2 Journ. de Phys. LXII. 61.

3 Ann. de Chim. N. 134. p. 171. Daraus in Französ. Ann. von Pfaff u. Friedländer. St. VIII. S. 99.

benutzt das Erdöl und Erdpech zur Schmiere, für sich oder mit Erde verbunden zum Brennen und zu mancherlei technischen Zwecken.

In Europa giebt es solcher Quellen viele, namentlich zu Gretenbergen, Hänigsen, Edemissen und Wietzen im Hannöver'schen; zu Tegernsee in Baiern; das Lambertsloch bei Straſsburg; der Bechelbrunn in den Vogesen; die von Begrède bei Anson in Languedoc; zu Gabian bei Beziers; zu Porentroy, zwischen Montpellier und Beniers; zu Lobsan in der Auvergne, sehr reich, u. a. a. O.; bei Neufchatel; mehrere in den Appenninen; der Miano in Parma; Zibio bei Modena; in den Schwefelgruben von Perticara und Urbino; bei Civita nuova; südlich von Loretto im Grunde des Meers; bei Salsa de Sassucolo; am Vesuv; auf Zante unweit Chierri; bei Girgenti und im Val di Noto auf Sicilien; am Grattenbergl unweit Häring in Tyrol; bei Pollonia in Albanien, eine im Alterthume bereits bekannte Quelle; desgleichen auf Zante; in England einige in den Kohlenminen; auſserdem zu Ormskirk in Lancashire; Coal Port unfern Coalbrookdale; der Catharinenbrunn bei Edinburg ist berühmt, auch findet man eine solche Quelle auf der Orkney-Insel Pomona. In Ungarn[1] am Fuſse der Karpathen giebt es eine groſse Menge Erdölquellen, unter andern zu Slobada, Kozmacz, Jablonow, Kalusch, Boryslow, Nahuiowice, Popiel und Kalowapienie. Auch in Gallizien[2] ist es häufig vorhanden und zwar eine schlechtere Sorte, *Roppa* genannt, die als Wagenschmiere dient, und eine bessere, *Kipieczka*, die zur Lederbereitung verwandt wird. Die Hauptquelle zu Truscawec in der Cameralschaft Drohobycz quillt armsdick periodisch mit einer groſsen Menge von Kohlenwasserstoffgas hervor. Beim Dorfe Herschan im Siebenbürgisch-Moldau'schen Passe Oytosch sind starke Erdölquellen. In Ruſsland findet man viele und reiche Quellen an den Ufern des Igar, des Tereck, der Wolga, im Gebirge Irnek an der Kirgisischen Grenze, in Taurien mit Gasvulcanen verbunden u. a. a. O.

1 Schindler Beschreibung der Karpathen. S. 31. J. E. v. Fichtel mineralogische Bemerkungen von den Karpathen. Wien 1791. 2 Th. 8.

2 Jahrb. d. polyt. Instituts. *II.* 335.

Am berühmteſten waren von jeher die Naphthaquellen in Aſien. Einige derſelben ergieſsen ſich in den Tigris, und zwar ſo reichlich, daſs die Schiffer das obenſchwimmende Erdöl anzünden und einen feurigen Fluſs bilden. Im Golf von Bengalen wird das Erdöl aus 560 Brunnen gewonnen; in Farghana und der Umgegend iſt es in Menge vorhanden, desgleichen am oberen Gihon bei Balk, von wo aus daſſelbe ſich neben den Salzquellen bis zum caſpiſchen Meere hin verſchiedentlich zeigt. Als Alexander der Grosse von Balk aus gegen die Sogdianer marſchirte und am Fluſſe Oxus ſein Lager aufſchlug, benutzte er die Anweſenheit dieſer Quellen als günſtige Vorbedeutung, denn es ſollte eine Waſſerquelle und eine Erdölquelle plötzlich neben ſeinem Zelte entſprungen ſeyn, welches Ereigniſs ſogleich durch Opfer gefeiert wurde. Bei Baku unſern des caſpiſchen Meers und der Inſel Abnheron oder Abſcheron, in der Nähe der gleichfalls berühmten ſtets brennenden Feuer iſt die Menge des Erdöls ſo groſs, daſs es ſogar die ſämmtlichen Waſſerquellen mehr oder minder verunreinigt. Ungefähr 2000 Schritte von jenen heiligen Feuern ſah Kämpfer zwei Naphthabrunnen, und einen dritten, welcher nicht mehr quoll; denn ungeachtet der unermeſslichen Ergiebigkeit jener Gegenden ſcheint die Menge des quellenden Oels doch abzunehmen, indem nach Kämpfer aus 40, nach Bruce aus 30 und nach Reineggs nur noch aus 25 Brunnen geſchöpft wurde. Das Abſchöpfen geſchieht bei Tage und bei Nacht wird der Abgang wieder erſetzt. Die Quellen der ſchwarzen Naphtha (der Ertrag der weiſsen iſt nur ſehr gering) gaben früher täglich 200 Maulthierlaſten. Als die Ruſſen im Jahr 1722 in den Beſitz jener Gegend kamen, betrug die Pacht jährlich 50,000 Rubel. Man ſchöpft aus den gröſsern Brunnen täglich 700 ℔, aus den kleinern 50 bis 60 ℔. Gegenwärtig iſt die Benutzung derſelben ein Regale des Fürſten von Baku, welcher 15 Ciſternen angelegt hat, woraus die Naphtha meiſtens nach Sihan verſendet wird, um dort beim Seidenbau als Brennmaterial zu dienen. Da ſich das Erdöl über Waſſer leicht ausbreitet und dann entzünden läſst, ſo wird es zur Beluſtigung von den Einwohnern oft auf das Meer zwiſchen den Inſeln an der Küſte des caſpiſchen Meers gegoſſen und angezündet, worauf die Wellen die Flamme auslöſchen, die Oberfläche aber zu brennen

scheint. Die Perser gebrauchen es als Brennmaterial und zu Firnissen, die Russen häufig als Heilmittel gegen Gicht und Rheumatismus. In den frühern Zeiten fand man neben der Naphtha einen jetzt nicht mehr vorhandenen gelben Stein, welcher zerschnitten und in den Bädern als Brennmaterial benutzt wurde, es sey denn daſs man darunter die mit Naphtha zusammengebackenen Thonkugeln versteht, welche auch noch gegenwärtig zum Heizen dienen, da man in Baku kein anderes Brennmaterial als Bergöl und Erdpech anwendet[1].

Mehrere hundert gegrabene Brunnen, woraus eine groſse Menge grünlich schwarzes, auch hellgrünes Petroleum geschöpft wird, und in denen man häufig Stücke schwefelkieshaltiger Steinkohlen über und unter dem Steinöl findet, sind im Königreiche Burmha, einige Stunden von der Stadt Reinang-Hong (unter 20° 26′ N. B. und 94° 46′ östl. Länge von Greenwich). Die Brunnen sind tief, die gewonnene Flüssigkeit macht einen bedeutenden Handelsartikel aus und wird theils zum Brennen, theils als Material zum Firniſs benutzt[2]. Nach Captain Hiram Cox[3] beträgt der aufgezeichnete Ertrag von den dortigen 520 Brunnen jährlich 92781 Tonnen und deren Werth nach Abzug von 5 Procent 170290 Lstl.

America und mehrere Inseln bieten gleichfalls Naphthaquellen in Menge dar, namentlich befinden sich auf Barbados sehr reiche und berühmte. Nach v. Humboldt[4] ist ein Schlund mit einer Erdölquelle in der Bucht von Mayaro an der Ostküste von Trinidad; ebenso findet sich dieses Mineral in der Mine bei Chapopote, welche im März und Juni oft heftige Detonationen hören läſst und in deren Nähe auf der Küste sich der Asphalt-See (*Laguna de Brea*) befindet[5]. Diese Gegend hat also Aehnlichkeit mit der des todten Meers. Eine Quelle ist bei Buen-Pastor unweit des Rio Areo; eine andere, im Golf Cariaco aus Glimmerschiefer entspringend; nordwärts von den Caracas-Inseln sind gleichfalls solche, de-

---

1 Journ. de Pharmac. 1820. T. VI. p. 209. 1822. Mai. p. 235.
2 Asiatic Researches T. VI. Bibl. Brit. XVI. p. 376.
3 Edinb. Phil. Journ. N. IX. p. 27.
4 Reisen. D. Ueb. T. III. p. 46.
5 Phil. Trans. LXXIX. p. 65. Trans. of The Linn. Soc. Daraus in Bibl. Brit. XXXVIII. p. 219.

Digitized by Google

ren Geruch den Schiffern die Anwesenheit der oft nur eine Klafter betragenden Untiefen anzeigt. Unweit Mena, am Gestade des Maracaibo-Sees, befindet sich eine Asphaltquelle, woraus zugleich Gas strömt, welches sich zuweilen entzündet und sein Licht weithin verbreitet. Unweit der Stadt Mexico endlich entspringen mehrere Erdölquellen aus Porphyr[1].

VII. Ursprung der Mineralquellen.

Die Aufsuchung der Ursachen, welche den Mineralwassern ihre Bestandtheile und den Thermen ihre Wärme geben, ist ein Gegenstand vom höchsten Interesse, und es liegen in der eben mitgetheilten Uebersicht Thatsachen genug vor, um diese Untersuchung daran zu knüpfen.

Nach Aristoteles, Plinius, Galenus und den spätern Physikern bis auf Musschenbroek[2] herab, desgleichen nach der Ansicht der neuern Chemiker und Naturforscher, erhalten die Mineralquellen ihre Bestandtheile dadurch, daſs die aus den Hydrometeoren entstehenden Quellen tiefer in die verschiednen Erdschichten eindringen, die darin vorhandnen Substanzen auflösen und mit ihnen je nach dem Reichthume der Orte mehr oder weniger gesättigt wieder hervorbrechen. In Beziehung auf die Salzquellen, bei denen man diese Erklärung jüngstens gleichfalls wankend machen wollte[3], ist sie über jeden Einwurf factisch dadurch entschieden, daſs man die Salzlager, aus denen die Soolquellen entspringen, durch Bohrversuche aufgefunden hat. Namentlich ist dieſs geschehn bei den reichen Quellen in Lothringen, zwischen denen Matthieu de Dombasle ein Bohrloch herabsenkte und auf ein sehr ausgedehntes Salzlager stieſs; auf ähnliche Weise hat man in und bei Wimpfen, desgleichen am östlichen Fuſse des Jura das Salzlager aufgefunden, aus welchem die dortigen Soolquellen gespeist werden; zu Droitwich unweit Worchester bohrte man in der Nähe der Salzquellen, fand 35 bis 45

---

1 v. Humboldt geognostischer Versuch. S. 180. Ueber den Zusammenhang dieser Quellen mit den Vulcanen s. *Vulcane*. Ueber die dem Erdöl verwandten Mineralien s. *Erde*. Bd. III. S. 1112.

2 Introduct. §. 1430 ff.

3 Keferstein Deutschland geognostisch-geologisch dargestellt u. s. w. Th. III. S. 247.

Digitized by Google

Fuſs tief Kiessand, dann 105 F. Gyps und noch 22 Fuſs tieſer gesättigte Soole in einem Salzlager von unbestimmter Mächtigkeit[1]. In Folge dieser und anderer ähnlicher Erfahrungen hat man seitdem an vielen Orten, wo aus geognostischen Gründen Salzlager zu erwarten waren, mit glücklichem Erfolge gebohrt und dadurch den verschiedensten Gegenden das unentbehrliche Salz verschafft.

Die Gebirge, aus denen die Mineralquellen entspringen, enthalten im Ganzen diejenigen Bestandtheile, die in den Wassern gefunden werden, wie namentlich zu Langenbrücken erwiesen ist, auch entdeckte unter andern Fournet[2], daſs in manchen Gruben der Auvergne eine Menge kohlensauren Gases emporsteigt, welches zugleich den Quellen zu Barbecot und Boklet den Gehalt an diesem Gas mittheilt. Insbesondere hat G. Bischof[3] die Richtigkeit dieser Hypothese durch die gewichtigsten Argumente unterstützt, F. A. A. Struve[4] aber, dem das Publicum für seine höchst genaue künstliche Darstellung der verschiedensten Mineralwasser in groſsartigen Anlagen zu Dresden, Berlin und Brighton vielen Dank schuldig ist, hat durch Versuche dargethan, daſs sich die Mineralwasser einiger Orte durch Extraction der daselbst vorhandenen Gebirgsarten darstellen lassen. Im Allgemeinen geht die Richtigkeit dieser Ansicht schon daraus hervor, daſs auch die zum Unterschiede sogenannten süſsen Quellen diejenigen Bestandtheile aufnehmen, die den Umgegenden ihres Ursprungs eigenthümlich zugehören. Insbesondere zeigte Berzelius[5] hauptsächlich aus der Uebereinstimmung der geognostischen Verhältnisse der Gegend bei Carlsbad und am Mont d'Ore und

1 G. XLIII. 334. LXIV. 155.

2 Kastner Archiv. III. S. 169.

3 Die vulcanischen Mineralquellen Deutschlands und Frankreichs. Bonn 1826. 8. Derselbe in Schweigg. N. Jahrb. d. Chem. u. Physik. IV. 377. VI. 125, 225 u. s. w.

4 Die künstlichen Mineralwässer. Dresden u. Leipzig. 1 Hft. 1825. 11 Hft. 1826. Auch Breislak condensirte die aus einer Solfatara aufſteigenden Dämpfe und erhielt ein Mineralwasser von der Art der in der Nähe entspringenden. Dessen Reisen durch Campanien. 1802. Th. II. S. 56.

5 Unters. d. Mineralwasser zu Carlsbad u. s. w. in Stockholmer Denkschr. 1822. Daraus in G. LXXIV. 113 ff.

aus der Aehnlichkeit der an beiden Orten entspringenden Quellen sowohl unter sich als auch mit dem Reikum auf Island, daſs die noch fortdauernde innere Thätigkeit erloschener Vulcane an den beiden ersten Orten die Eigenthümlichkeiten der dortigen Mineralwasser auf gleiche Art bedingen könne, als dieses erweislich durch noch jetzt brennende auf Island geschehe; später ist dieses Nämliche aber durch Bischof weit ausführlicher und durch specielle Beibringung einzelner Thatsachen bei einer groſsen Zahl von Mineralquellen geschehn. Man muſs hiernach annehmen, daſs die eindringenden Wasser der Hydrometeore bei ihrem Herabsinken in die Gebirgsschichten bis zu gröſsern Tiefen durch den Einfluſs der zwar erloschenen, im Innern aber noch thätigen, Vulcane erwärmt und mit den theils in Menge vorhandenen, theils durch die fortdauernde vulcanische Action stets noch neu ausgeschiedenen Substanzen geschwängert, alsdann aber durch den hydrostatischen Druck des nachdringenden Wassers an die Oberfläche emporgetrieben werden. Hiermit genau übereinstimmend ist das Resultat der Untersuchungen von Boussingault und Rivero[1], welche bei ihrer Analyse der Thermalquellen in Südamerica fanden, daſs ihre mineralischen Bestandtheile und die enthaltenen Gasarten ganz dieselben sind, welche man in den benachbarten Vulcanen findet, von denen sie daher sowohl ihre Wärme als ihre eigenthümliche Beschaffenheit erhalten.

Diese klare und einfache Erklärung befriedigte diejenigen nicht, die es vergaſsen, daſs Einfachheit gerade das beste Kennzeichen der Richtigkeit ist, und sie nahmen daher zu höhern Kräften ihre Zuflucht, die weder klar gedacht noch als wirklich existirend nachgewiesen werden können. Insbesondere fand man die ungeheure Menge der Mineralsubstanzen unerklärlich, welche seit so vielen Jahrhunderten in stets gleichbleibender Quantität zugleich mit dem Quellwasser zu Tage gefördert werden. Eine oberflächliche Uebersicht dieser Gröſsen führt allerdings zu überraschenden Resultaten und kann in der That irre leiten, wenn man die Mühe scheut, die Sache selbst durch Zurückführung auf bestimmte Messungen genauer vorstellbar zu machen. Rücksichtlich der Salzquellen hat indeſs die in neuerer Zeit geschehene Auffindung

1 Ann. de Chim. et Phys. LII. 181.

mancher vorher unbekannter Salzlager hinlänglich bewiesen, daſs alles das, was die Soolquellen in Zeiträumen von Jahrtausenden liefern, allezeit nur einen kleinen Theil des vorhandenen Vorraths ausmacht[1], wie man unlängst aus der unermeſslichen Menge von Steinkohlen schlieſsen konnte, welche bei der grenzenlosen Verschwendung derselben in England dennoch für eine unabsehbare Reihe von Jahren ausreichen werden. Insbesondere aber fuſste man auf die enormen Quantitäten von Mineralien, welche manche Thermen, namentlich die Carlsbader, jährlich liefern. Nach ältern Messungen von Becher giebt Klaproth[2] den jährlichen Ertrag des Sprudels zu 746884 ℔ Natron, 1132932 ℔ Glaubersalz, 238209 ℔ Kochsalz, 86020 ℔ Kalkerde, 17369 ℔ Kieselerde, 1240 ℔ Eisenocher und 99539 Kub. Fuſs Kohlensäure an, und dennoch kennt man diese Quelle sicher bereits seit dem Jahre 1347. Obendrein aber hat Gilbert[3] aus neuern Messungen und durch Berichtigung der angenommenen Maſse bewiesen, daſs diese Angabe unrichtig und der jährliche Ertrag wohl zwanzigmal gröſser ist, wonach allein 130000 Centn. Natron und gegen 200000 Ct. Glaubersalz aus den sämmtlichen Sprudelöffnungen emporkommen. Wenn man aber auch jene obigen Messungen um das Zwanzigfache vermehrt, so giebt dieses zwar, das specifische Gewicht der genannten Substanzen im Mittel zu 1,5 gegen Wasser als Einheit angenommen, die anscheinend groſse Masse von jährlich 423362 par. K. Fuſs, allein dieses beträgt nicht mehr als einen Kubikraum von 145,5 Fuſs Seite und 20 Fuſs Höhe; es würden aber 54421 Jahre erforderlich seyn, um einen Raum von einer einzigen Quadratmeile Fläche und 40 Fuſs Höhe zu liefern, welches gegen den Kubik-Inhalt der Berge, aus denen jene Mineralquellen flieſsen, nur eine unbedeutende Gröſse ist[4]. Man sieht hieraus, daſs genaue Berechnungen die Hypothese vielmehr unterstützen als sie widerlegen.

---

1 Nach Benzenberg ist das Salzlager unter Wimpfen bei einer Quadratmeile Flächeninhalt 88 Fuſs mächtig und liefert für 4 Millionen Familien 16000 Jahre lang hinlänglich Salz.

2 Beiträge Th. I. S. 322.

3 G. LXXIV. 199.

4 Eine ähnliche Berechnung giebt L. von Buch im Bergmännischen Journal. Freib. 1792. S. 383 ff.

Es ist bereits im ersten Abschnitte erwähnt worden, daſs Keferstein[1] den Ursprung der Quellen aus einem Athmungsprocesse ableitet, indem er der Erde ein animalisches oder vegetabilisches Leben beilegt und das quellende Wasser als ein Product organischer Thätigkeit betrachtet. Gleichzeitig hiermit und auf gleiche Weise sollen dann auch alle in den Quellen befindliche Mineralien erzeugt werden, wobei die Vertheidiger dieser Hypothese die Art einer solchen Erzeugung keineswegs aus den vorhandenen Bedingungen ableiten, sondern bloſs das präsumirte Leben durch häufige Wiederholung allgemeiner Analogieen darzuthun sich bemühn, zum Beweise der Entstehung jener Mineralkörper aber sich auf die bekannte Erzeugung des Salpeters berufen, gleichsam als ob diese letztere ein organischer und nicht vielmehr ein rein unorganisch chemischer Proceſs wäre, indem zwar organische, aber der Lebensthätigkeit längst beraubte und bereits im Zustande der Zersetzung begriffene stickstoffhaltige und mit den Salzbasen versehene Substanzen der Luft ausgesetzt werden, um durch Anziehung des Sauerstoffs der Atmosphäre mit Salpetersäure geschwängert zu werden. Hierbei geschieht also nichts weiter, als daſs durch einen rein chemischen Proceſs aus dem bereits vorhandenen Stickstoffe und dem angezogenen Sauerstoffe Salpetersäure gebildet wird, ohne daſs dabei sich die mindeste Spur der Erzeugung einer nicht bereits in groſser Menge vorhandenen Substanz zeigt. Wie aber die überwiegende Menge der in der Luft überall fehlenden oder nur in unmerklichen Quantitäten mechanisch fortgerissenen festen Bestandtheile der Mineralquellen aus ihr entstehn könnte, darüber giebt das gewählte analoge Beispiel nicht die mindeste Auskunft, die ganze Hypothese ist somit überall nur aufgestellt, aber keineswegs durch Beweise begründet, und verdient sonach keine Widerlegung.

Nennt man die eben erwähnte Hypothese die *organisch dynamische,* so kann eine andere die *elektro-galvanische* genannt werden. Sie verdankt ihren Ursprung gleichfalls dem Streben nach sogenannten höhern Ansichten, welche man in der Annahme von Thätigkeiten zu finden wähnt, die einer

---

1 Deutschland geognostisch-geologisch dargestellt u. s. w. Weimar 1827. Th. V. S. 1 ff.

durchaus klaren und ins Einzelne eingehenden Einsicht ermangeln. Steffens[1] darf als derjenige Gelehrte genannt werden, welcher dieselbe am bestimmtesten und entschiedensten ausſprach, wenn gleich andere schon früher auf die in der Natur im Groſsen vorkommenden galvanischen Wirkungen hindeuteten. Um den vermeintlichen Schwierigkeiten zu entgehn, welche der gangbaren *physisch-chemischen* Auflösungstheorie wegen der übergroſsen Menge der in den Mineralquellen enthaltenen Substanzen entgegenzustehn schienen, sollten die Berge, aus denen solche Wasser entspringen, groſse Volta'sche Säulen bilden und als solche durch Potenzirung aus unbekannten Stoffen oder durch bloſse schaffende Kraft den Gehalt der Quellen erzeugen. Diesemgemäſs behauptete Steffens, „warme Quellen, Erdbeben und vulcanische Ausbrüche „fänden nur da statt, wo Steinkohlenlager vorhanden sind, „weil diese allein die Verbrennung möglich machten und in „dem groſsen elektromotorischen Apparate der Erde eine kräftige elektrische Spannung unterhalten könnten. Habe man „aber diese Erscheinungen in den Primitiv-Formationen Süd-„america's zu beobachten geglaubt, so seyen steinkohlenhaltige Flötz-Porphyre mit Urporphyren verwechselt worden." Von Humboldt[2] aber wies nach, daſs die heiſsen Quellen vielmehr vorzugsweise aus Granit und Gneis ausströmen und daſs er in Gemäſsheit des selbstgesammelten reichen Schatzes von Erfahrungen keineswegs geneigt sey, die Erde für eine groſse Pile zu halten. Von einem bekanntlich so scharfsinnigen Denker lieſs sich übrigens kein andres Urtheil, als dieses, erwarten, denn die Hypothese mit ihrem Unterstützungsgrunde fordert nichts Geringeres, als anzunehmen, daſs die nämlichen Berge genügen sollen, dasjenige als producirende Maschinen zu erzeugen, wozu sie als Product nicht ausreichen, so undenkbar es auch immerhin ist, daſs eine Volta'sche Säule eine gröſsere Masse zerlegter Substanzen liefere, als sie selbst beträgt. Noch auffallender aber muſs es bei dieser Hypothese seyn, daſs sie sich der Mühe überhebt nachzuweisen, aus welchen Substanzen die vermeintlichen Säulen die Producte ihrer Zerlegung erhalten, da es schwerlich je-

---

1 Geognostisch-geologische Aufsätze. Hamb. 1810. S. 322.335.

2 Reisen. D. Uebers. Th. III. S. 42.

mandem in den Sinn gekommen ist, den Volta'schen Ketten die Kraft einer Schöpfung aus Nichts beizulegen[1].

Bei der auffallenden Schwäche der eben mitgetheilten Hypothese, welche bloſs durch wiederholte Declamationen erhoben, keineswegs aber im Einzelnen den Resultaten der Beobachtungen angepaſst wurde, indem niemand thatsächlich nachwies, was für Elemente und in welcher regelmäſsigen Verbindung sie die vermeintliche Säule bildeten, wo die ihre Pole verbindenden Leiter anzutreffen seyen, woher sie die zerlegten Massen nehme, was ihre Wirksamkeit seit Jahrhunderten in ungeschwächter Dauer erhalte u. s. w., konnte sich kein eigentlicher Streit über dieselbe erheben, und ihre Anhänger waren keine eigentlichen Vertheidiger derselben, sondern bloſs solche, die sich im Allgemeinen zu ihr bekannten. Unter der nicht geringen Zahl derselben mag es genügen, bloſs Voigt[2], Wurzer[3] und Anglada[4] zu nennen, welche übrigens nebst allen andern zur festern Begründung derselben gar nichts beigetragen haben.

Ehemals leitete man die Hitze der Thermen von Schwefelkiesen ab[5], die sich ziemlich allgemein im Innern der Erde befinden, deren Daseyn gerade an den Orten der Thermalquellen und in genügender Menge sich aber keineswegs jederzeit nachweisen lieſs. Die vermeintliche Selbstentzündung

---

1 Das schon durch Lichtenberg getadelte Verfahren, bei der Erklärung der Naturerscheinungen ohne genügenden Grund vorzugsweise zur Elektricität seine Zuflucht zu nehmen, hat mehrere sogenannte elektrische oder elektrochemische Theorieen der Mineralquellen erzeugt, die kaum eine Erwähnung verdienen. So sind nach Koellreuter die Mineralquellen Erzeugnisse der Erdelektricität, indem in den heiſsen der Wasserstoff = — E., in den kalten der Sauerstoff = + E. vorwalten soll, weswegen sie in den Krankheiten von entgegengesetztem Charakter anwendbar sind. S. Charakteristik der Mineralquellen in physischer und medicinischer Hinsicht von Dr. W. L. Koellreuter. Pforzheim 1818.

2 Hermbstädt's Bulletin Jahrg. 1810.

3 Physikalisch - chemische Beschreibung d. Schwefelquellen zu Nenndorf u. s. w. Cassel 1815. S. 43.

4 Mémoires pour servir à l'histoire générale des eaux minerales sulphureuses. Par. 1827.

5 Insbesondere geschah dieses durch Becher in dessen: Neue Abhandlungen über das Carlsbad. 2te Aufl. Leipz. 1789. S. 204.

Digitized by Google

der Schwefelkieſe folgerte man ſehr oberflächlich aus Lemery's bekannter Nachbildung der Vulcane durch ein Gemenge von Schwefel und Eiſenfeilicht; allein die Schwefelkieſe, in denen die beiden Beſtandtheile bereits verbunden ſind, entzünden ſich nicht mehr, und auf jeden Fall nicht ohne freien Zutritt der atmoſphäriſchen Luft. Berzelius[1] verwirft daher dieſe Meinung gänzlich, weil die Art Schwefelkies, die ſich leicht entzündet, ein *ſehr ſeltenes* Mineral iſt, und man kein Beiſpiel von brennenden Schwefelkieslagern hat, die ohne gleichzeitiges Brennen von Steinkohlen nicht bald von ſelbſt erloſchen wären. Brennende Steinkohlenlager kündigen ſich aber überall durch Rauch an, den man in der Umgebung der Thermen nicht wahrnimmt, auſser bei vorhandenen Vulcanen, namentlich bemerkt L. von Buch[2], daſs ſolche Kennzeichen eines unterirdiſch brennenden Steinkohlenflötzes, welches Klaproth als Urſache der Wärme jener Thermen anſieht, ſich in der Umgegend von Carlsbad durchaus nicht vorfinden. Berzelius meint ferner, daſs ein Steinkohlenflötz zwar lange brennend bleiben könne, nach mehrern Jahrhunderten aber von ſelbſt aufhören müſſe, was mit dem leicht erweislichen hohen Alter mancher Thermen nicht wohl übereinſtimme. Seitdem man übrigens ſo viele heiſse Quellen beobachtet hat, die in der Nähe noch brennender Vulcane entſpringen und ihre Wärme entſchieden durch dieſe erhalten, nachdem dieſe Thatſache insbeſondere durch die vielen gründlichen Forſchungen von Al. von Humboldt und Leop. von Buch über jeden Zweifel erhoben iſt, ſeitdem man ferner die chemiſchen Analyſen der ächt vulcaniſchen Quellen, namentlich der Isländiſchen, mit denen der in der Nachbarſchaft erloſchener Vulcane, namentlich in der Umgegend des Puy de Dome und bei Carlsbad, entſpringenden Thermen verglichen und ihre nahe Uebereinſtimmung aufgefunden hat, kann man nicht füglich mehr an der Richtigkeit der durch Berzelius[3] aufgeſtellten Meinung zweifeln, daſs die Hitze im Innern der bereits erloſchenen Vulcane, welche durch die Decke von ſo bedeutender

1 G. LXXIV. 174.

2 Bergmänniſches Journal 1792. S. 412.

3 A. a. O. G. LXXIV. 179 ff. Vergl. Daubeny in Edinb. Phil. Journ. N. S. N. XXIII. p. 49.

Digitized by Google

Mächtigkeit nicht wohl entweichen kann, den Thermen ihre Wärme mittheilt, und daſs eben dieselbe noch fortwährend im Schooſse der Erde diejenigen Zersetzungen bewirkt, durch welche die Mineralquellen die sie auszeichnenden Bestandtheile erhalten. In welchem Zusammenhange diese Ansicht mit der neuerdings erwiesenen, mit der Tieſe zunehmenden Wärme der Erde stehe, übersieht man leicht, und es ist daher nur eine Modification derselben, wenn die lauen Wasser nach Brongniart[1] und andern durch die innere Erdwärme ihre höhere Temperatur erhalten sollen. Am ausführlichsten ist diese Hypothese durch Bischof[2] in Einzelnen geprüft und durch eine groſse Menge von Thatsachen unterstützt worden. Unter andern berechnet dieser aus seinen Versuchen mit künstlich erhitztem Basalt, daſs 8,25 Billionen Pfund dieser Felsart hinreichen würden, um die Carlsbader Quellen 7000 Jahre lang zu erwärmen. Hierbei ist allerdings die Menge des erforderlichen Gesteins auf den ersten Anblick unermeſslich, allein die nähere Berechnung zeigt, daſs 0,3 des einzigen Donnersberges in Böhmen dieser Masse gleichkommen, und dabei weiſs man ohnehin nicht, in welche groſse Tiefe das atmosphärische Wasser herabsinken muſs, um die erforderliche, wegen der sämmtlichen bereits hinlänglich erhitzten Canäle stets gleichbleibende, Temperatur zu erhalten, und wie stark die dortigen Fossilien früher erhitzt waren. Es läſst sich bei dieser Ansicht allerdings nicht in Abrede stellen, daſs die Temperatur der Thermalquellen stets abnehmen müsse, allein bei dem unermeſslichen Vorrathe des erhitzenden Materials ist die Zeitdauer der angestellten genauen Messungen viel zu kurz, als daſs eine Abnahme bereits merklich werden könnte. Im Allgemeinen bestätigt nämlich die Erfahrung, daſs die Temperatur der Thermen selbst während der Dauer von Jahrhunderten sich nicht ändert, wie namentlich Berzelius[3] von Carlsbad und den heiſsen Quellen zu Mont d'Ore nachgewiesen hat. Merkwürdig aber ist, daſs Boussingault und Rivero[4]

---

1 Hist. nat. de l'Eau.

2 A. a. O. Als einen Anhänger Bischof's bekennt sich Stifft in Folge seiner Untersuchungen der Nassau'schen Mineralwässer. Edinb. Phil. Journ. N. Ser. N. XXIV. 290.

3 A. a. O. S. 190.

4 Aus Archiv. Gen. 1833. Mars in Dublin Journ. of Med. and

Digitized by Google

die Wärme der oben erwähnten Quelle zu Mariara höher fanden, als von Humboldt, und zwar so, daſs hier kein Beobachtungsfehler obwalten kann, da andere Meſsungen so genau übereinstimmen. Letzterer hatte sie nämlich im Jahr 1800 nur 59°,3 gefunden, erstere aber erhielten 1823 vielmehr 64°, auch fanden sie die Wärme der einen Quelle zu Las Trincheras allerdings ganz übereinstimmend mit v. Humboldt 92°,2, die der andern aber 97°; beide Meſsungen wurden im Monat Februar gemacht, so daſs aus der ungleichen Jahreszeit kein Grund dieser Abweichung zu entnehmen ist. Die beiden genannten Reisenden wollen ferner beobachtet haben, daſs die Temperatur der Quellen mit der Höhe abnimmt, denn sie fanden zu Las Trincheras bei Porto Cabello ungefähr im Niveau des Meers 97°, zu Mariara in 476 Meter Höhe 64° und in der Quelle zu Onoto auf 702 Meter Höhe 44°,5. Zur weitern Prüfung dieser Behauptung müſsten Versuche bei Quellen gemacht werden, die an dem nämlichen Orte in ungleichen Höhen entspringen, wozu aber selten Gelegenheit gegeben wird. Daſs die Bestandtheile der Mineralquellen zuweilen überhaupt oder in unbestimmten Perioden eine Veränderung erleiden, behauptet F. Wurzer [1], es sind mir jedoch keine sonstige zur Entscheidung dieser Frage genügende Erfahrungen bekannt.

Es ist ein ziemlich allgemein verbreitetes, durch verschiedene Aerzte unterstütztes Vorurtheil, daſs die Wärme der natürlichen Mineralwasser eine andere und zwar höhere Potenz sey, als diejenige, die man ihnen künstlich mittheilen kann. Zum Beweise führte man die vermeintlichen Erſahrungen an, wonach die natürlichen Thermalwasser einen andern Eindruck auf den menschlichen Körper machen sollen, als künstlich erhitztes Wasser, indem man die erstern heiſser und mit geringerem Widerwillen trinken könne, als die letztern, ungeachtet diese Behauptung damit im Widerspruche steht, daſs das Wasser der Thermen zu technischen und ökonomischen Zwecken vielfach mit gleichem Erfolge, als künstlich erhitztes, benutzt zu werden pflegt. Auch auf Vegetabilien

---

chem. Science T. III. p. 428. Vergl. Ann. de Chim. et Phys. XXIII. 272. LII. 188.

1 Schweigg. Jahrb. XII. 122.

sollten sie eine abweichende Wirkung hervorbringen, indem Pflanzen in jene bei 88° C. getaucht nicht zerstört, sondern vielmehr frischer und lebendiger würden. Hauptsächlich aber wollte man gefunden haben, daſs das Thermalwasser seine Wärme ungleich fester gebunden enthalte und sie daher bei gleichen Temperaturgraden und unter gleichen Bedingungen weit langsamer verliere, als gemeines Wasser, in welcher Beziehung man sich auf die Resultate vergleichender Versuche stützte, die mit dem Wasser der heiſsen Quelle zu Bourbonne wirklich angestellt worden waren[1]. Diese entschieden allerdings für die aufgestellte Behauptung; allein weil danach eine eigenthümliche Modification der Wärme statt finden müſste, zu deren Annahme keine sonstige Erfahrungen berechtigen, indem sie mit diesen vielmehr im Widerspruche steht, und da es Pflicht des besonnenen Physikers ist, keine ältere wohlbegründete Erfahrung wegen einer neuen ohne hinlängliche Prüfung aufzugeben, so untersuchte man die Sache abermals mit der für solche Versuche unerläſslichen Vorsicht, und dabei fand namentlich Longchamp[2], daſs bei beiden Arten von Wassern die Zeiten der Abkühlung einander völlig gleich sind. Später wurde jene Behauptung wieder durch Kastner in Schutz genommen, aber durch die mit gehöriger Vorsicht angestellten Versuche von L. Gmelin und Lade genügend widerlegt[3], auch fand Salzer[4] diese Eigenschaft nicht beim Thermalwasser zu Baden-Baden, so oft sie diesem auch zugeschrieben wird.

Eine gleiche Bewandtniſs hat es mit der oft untersuchten Frage, ob es möglich sey, die natürlichen Mineralquellen völlig genau künstlich nachzubilden. Daſs organische Körper zwar durch Entziehung irgend eines Bestandtheils in andere von einer niedrigern Stufe verwandelt werden können, die höhern Zusammensetzungen aber wegen der dabei in geringerer Stärke vorwaltenden Affinitätsgesetze der Kunst unerreichbar sind, ist als im Wesen der Sache gegründet bereits bei

---

1 Dict. de Medec. VII. 260. Journ. Compl. du Dict. des Sciences medic. VI. p. 103.

2 Ann. de Chim. et Phys. XXIV. 248.

3 G. LXXXIII. 451.

4 Schweigg. Journ. IX. 180.

Digitized by Google

der Untersuchung der Materie überhaupt nachgewiesen worden[1]. Insofern aber die Mineralwasser unorganische Körper sind, muſs ihre vollständige Nachbildung möglich seyn, sobald die Bestandtheile derselben hinlänglich bekannt sind. Man hat daher gegen die künstliche Nachbildung das Argument geltend gemacht, daſs frühere Analysen einige in geringen Quantitäten vorhandene Stoffe nicht angegeben haben, ja daſs selbst durch die spätern bessern einige, namentlich das Lithium, nicht aufgefunden worden sind[2]. Soviel ist allerdings richtig, daſs künstliche Mineralwasser die Wirkung der natürlichen nicht haben können, wenn ihnen Bestandtheile fehlen, welche den Einfluſs derselben auf den menschlichen Körper bedingen; allein einestheils ist jetzt die Kunst der Analyse so weit fortgeschritten, daſs nicht füglich irgend ein in meſsbarer Menge vorhandener Stoff entgehn kann, anderntheils zeigen die, namentlich durch Struve, nachgebildeten vollständig und genau die nämlichen Wirkungen auf den menschlichen Körper als die natürlichen. Wenn aber manche Aerzte noch jetzt von unbekannten Potenzen, von eigenthümlichen Inponderabilien, die weder in bestimmten Heilquellen noch sonst überall nachweisbar einen eigenthümlichen Einfluſs der Mineralwasser auf den menschlichen Körper bedingen sollen, sprechen, so zeigt dieses, wenn es anders ernstlich und nicht bloſs zur mysteriösen Anpreisung der von ihnen empfohlenen Brunnen- oder Badeanstalt geschieht, wie schwer es von den ältesten Zeiten herab bis zu den neuesten hielt, den aus einer natürlichen Vorliebe für das Wunderbare folgenden Hang zur Annahme unbekannter Potenzen und verborgener Kräfte (*qualitates occultae*) zu vertilgen. M.

R a d.

Rota; Roue; *Wheel.*

Man versteht unter Rad im Allgemeinen eine runde Scheibe, welche massiv oder mit Speichn versehn ist, eine ebene oder

1 S. Art. *Materie*.

2 Auch das Jod kannte man früher nicht, und dennoch haben alle Quellen, in denen Chlornatrium oder Chlorcalcium vorkommt, auch Spuren von Jod nach Henderson in Phil. Mag. and Ann. N. XXXVII. p. 10.

mit Furchen versehene Peripherie hat und allezeit in Beziehung auf eine durch ihren Mittelpunct gehende, auf ihre Ebene perpendiculäre, entweder in ihr festsitzende oder bewegliche Axe betrachtet wird. Das bei ihm, wie bei der ihm ähnlichen Rolle, zum Grunde liegende mechanische Princip ist der Hebel, indem man von jedem Puncte sowohl der Peripherie jener Scheibe als auch der Oberfläche der physischen Axe aus, auf welchen eine Kraft oder die Resultirende mehrerer bewegenden Kräfte wirkt, eine Linie bis zur gemeinschaftlichen geometrischen Axe beider fällt und diese als die Längen der Hebelarme betrachtet, deren Hypomochlium in dieser geometrischen Axe selbst liegt. So einfach übrigens das Princip ist, worauf alle Arten von Rädern zurückkommen, nämlich das bereits erklärte vom Hebel[1], eben so vielfach sind die Anwendungen, die man davon gemacht hat, deren zahlreiche Modificationen nicht selten zu weitläuftigen und schwierigen Erörterungen führen, die einen wesentlichen Theil der praktischen Maschinenlehre ausmachen. Nach dem Plane und der Anlage dieses Werks wird es zweckmäſsig seyn, die verschiedenen Arten der Räder namhaft zu machen und dasjenige, was bei ihnen in mechanischer Hinsicht wesentlich ist, kurz zusammenzustellen.

A. Wagenrad.

Die an Wagen aller Art, an Karren, Schubkarren, Pflügen u. s. w. vorkommenden Räder bestehn meistens aus einem in der Mitte befindlichen, ausgehöhlten, auf der Axe umlaufenden oder mit letzterer fest verbundenen Stücke, der *Nabe*, aus den in diese gefügten *Speichen* und aus einem äuſseren Kranze, den *Felgen*. Ob die Nabe um die Axe umläuft oder an ihr festsitzt, macht für das Wesen der Construction keinen Unterschied, auch ist letzteres bei weitem am seltensten der Fall und findet sich meistens nur bei einigen Pflugrädern und bei den Rädern der Schubkarren oder der für Eisenbahnen bestimmten Wagen, weil hierdurch die Räder minder wankend werden und genauer auf den Eisenschienen ruhn.

Die Bedingungen eines guten Baues der Räder werden allgemein aus dem Wesen ihrer Bestimmung entwickelt. Wohl

---

1 S. *Hebel.* Bd. V. S. 105.

Digitized by Google

ohne Ausnahme dienen die hier zu untersuchenden Räder zur Fortschaffung von Lasten, da von Schwungrädern, Treträdern u. s. w. die Rede nicht seyn kann. Auf einer ebenen Fläche werden die Lasten ganz durch den Widerstand dieser letzteren getragen, zur Bewegung derselben auf einer Ebene wäre demnach bloſs die Trägheit zu überwinden, welche bei geringer oder einmal erzeugter Bewegung verschwindend klein oder $= 0$ ist, und wenn daher mehr Kraft hierzu erfordert wird, so muſs dieses in einem andern Umstande gegründet seyn, als welchen man sehr bald die Reibung erkennt, wozu bei der geneigten Ebene noch die dem Sinus des Neigungswinkels proportionale Hebung der Last kommt[1], die wir hier unberücksichtigt lassen. Liegt die Last auf einer Unterlage und wird sie mit dieser zugleich bewegt, so muſs also die Reibung überwunden werden, welche der Last direct und der Glätte umgekehrt proportional ist[2]; die zur Bewegung erforderliche Kraft kann daher $K = mP$ genannt werden, wenn das Gewicht der fortzuschaffenden Masse und des Vehikels durch P, die unbestimmbare Reibung aber oder der Reibungscoefficient durch m bezeichnet wird. Zugleich aber sind die sogenannten ebenen Straſsen, die Wege, auf denen die Lasten transportirt werden, nicht vollkommen glatt, noch auch in der Regel so hart, daſs sie den Unterlagen nicht nachgeben, also keinen Eindruck erhalten sollten, indem zugleich die ihre Rauheit erzeugenden Körper entweder zur Seite gedrückt, oder die Lasten über sie weggehoben werden müssen. Hierdurch muſs also der Reibungscoefficient bei sogenannten Schleifen zu einer bedeutenden Gröſse anwachsen, die durch Anwendung der Räder ausnehmend vermindert wird.

Diente ein Rad auf eine solche Weise zur Unterstützung der Last, daſs diese auf seinem oberen Rande ruhete, und wäre es selbst dann auf einer absolut harten und ebenen Fläche befindlich, so würde zur Bewegung gleichfalls nur eine verschwindend kleine Kraft erforderlich seyn, weil bei gleichmäſsiger Vertheilung seiner Masse der Schwerpunct im Mittelpuncte liegt, folglich in jeder Lage desselben die hierdurch gefällte lothrechte Linie stets in den Unterstützungspunct fällt, und da beim

1 Vergl. Art. *Ebene, geneigte*. Bd. III. S. 65.

2 Vergl. *Reibung*.

Digitized by Google

Fortrollen desſelben allezeit neue Theile mit der unterſtützenden Ebene in Berührung kommen, so fällt hiermit die Reibung weg. Allein unter diesen Bedingungen kann die Last bei der Bewegung ihre Unterstützung nicht beibehalten, müſste vielmehr auf dem obern Rande fortgeschoben werden, wodurch der ganze Nutzen ein eingebildeter wird; inzwischen beruht hierauf die ungemeine Leichtigkeit, womit die Schmiede selbst die schwersten Räder fortzurollen pflegen, desgleichen die auſserordentliche Verminderung der erforderlichen Kraft, wenn die schwersten Lasten auf Walzen oder auf Kugeln, die in hölzernen Rinnen liegen, transportirt werden. Bei den Rädern dagegen ist die Reibung nicht aufgehoben, aber sie findet am Umfange der Axe statt, und da das Rad auf seinem Umfange fortrollt, so muſs die Reibung im Verhältnisse der Halbmesser von beiden vermindert werden. Bezeichnet man also diese Halbmesser der Axe und des Rads durch r und R, so ist

$$K = m P \frac{r}{R}.$$

Die Zahl der Räder eines Wagens u. s. w. macht hierbei keinen Unterschied; denn es muſs zwar der für K gefundene Ausdruck mit der Zahl der Räder dividirt werden, wenn man die zur Bewegung jedes einzelnen Rads erforderliche Kraft finden will, allein um die zur Fortschaffung der ganzen Last nöthige Kraft zu erhalten, muſs man diese einzelnen Gröſsen wieder summiren.

Die Axen, selbst die dickeren, haben selten über 3 Zoll im Durchmesser, und wenn dann die Höhe der Räder zu 5 Fuſs oder 60 Zoll angenommen wird, so erhält man $\frac{r}{R} = \frac{3}{60} = \frac{1}{20}$. Wird dieser Werth in die Formel gesetzt, $m = \frac{1}{3}$ und $K = 100$ angenommen, so ist $P = 6000$. Die Kraft eines Pferds ist also nur gering zu 100 ℔ angenommen, wie sie auch durch mittelmäſsige Pferde bei anhaltender Arbeit geleistet werden kann, die Reibung $m = \frac{1}{3}$ ist bei der Glätte der sich reibenden Flächen gröſser als in der Wirklichkeit angenommen, und dennoch giebt das Resultat eine Belastung von 60 Cent. für 1 Pferd, da doch gewöhnlich nur 10 bis 12 Cent. gerechnet zu werden pflegen. Nimmt man für P diese Gröſse, nämlich 1200 ℔, und sucht m als unbekannt, so erhält man $m = \frac{5}{3}$, und es müſste also die Reibung sogar die Gröſse der Last über-

steigen. Hieraus ergiebt sich augenfällig, daſs bei der Fortschaffung der Lasten auf Fuhrwerken mit Rädern noch andere Hindernisse der Bewegung statt finden müssen, inzwischen folgen doch aus den bisherigen Bestimmungen schon einige Regeln für den zweckmäſsigen Bau der Räder.

1) Da die zur Bewegung erforderliche Kraft um so geringer wird, je kleiner das Verhältniſs r : R ist, so ergiebt es sich als vortheilhaft, die Durchmesser der Axen möglichst klein und die der Räder möglichst groſs zu wählen. Es verdienen also die eisernen Axen, die wegen gröſserer Tragkraft des Eisens dünner seyn dürfen und obendrein sich weit glatter darstellen lassen, als die mit eisernen Schienen belegten hölzernen, vor den letzteren einen entschiedenen Vorzug, und sie sind desto besser, je dünner sie gemacht werden, wenn nur ihre unentbehrliche Stärke darunter nicht leidet. Auch die Höhe der Räder findet eine Beschränkung darin, daſs sie mit der Zunahme derselben mehr schwanken und zerbrechlicher werden, weswegen sie bei den schwersten Frachtwagen 4 bis 4, 5 Fuſs nicht zu übersteigen pflegen, oft aber kaum 3 Fuſs Höhe haben.

2) Die Räder müssen genau rund und ohne Erhabenheiten (sogenannte Radnägel) auf ihrer Peripherie seyn, weil sonst die Last da, wo ihr Halbmesser R kleiner wird, herabsinken würde, und dann wieder gehoben werden müſste. Es läſst sich jedoch annehmen, daſs die Excentricität auch bei schlechteren Rädern nie eine meſsbare Gröſse erreicht, und kann dieser Fehler also vernachlässigt werden; desto bedeutender ist das Hinderniſs, welches aus den Nagelköpfen entsteht, aber ebenso, wie das durch die auf den Straſsen befindlichen erhabenen Steine erzeugte, über welche die Räder gehoben werden müssen, der Höhe der Räder proportional abnimmt. V. Gerstner[1] berechnet, daſs der Widerstand, welcher durch solche Nagelköpfe von $\frac{3}{8}$ Zoll Höhe und 9 Zoll Abstand von einander erzeugt wird, demjenigen gleich ist, welchen 2 Zoll hohe und 4 Fuſs von einander entfernte Steine verursachen, jeder derselben aber doppelt so groſs als der aus der Reibung an der Axe entstehende. Die nähere Untersuchung ergiebt ferner, daſs die zur Ueberwindung dieses Widerstands erforderliche Zugkraft dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional ist, weswegen die Lastwagen auf

1 Handbuch der Mechanik u. s. w. Prag 1831. Th. I. S. 576.

Digitized by Google

steinigen Straſsen langsam fahren. Die den Landstraſsen ohnehin nachtheiligen Radnägel sind jetzt fast ganz allgemein abgeschafft, die Rauheiten der Straſsen sind aber im Allgemeinen nicht zu vermeiden; inzwischen geht aus dieser Betrachtung schon der Grund hervor, weswegen auf den ganz glatten Eisenbahnen mit geringer Zugkraft so auſserordentlich groſse Lasten fortgeschafft werden. Einen Ersatz derselben geben die in Italien und England, namentlich Edinburg und London, üblichen *Steinbahnen*, die aus zwei Streifen von horizontal auf festem Grunde liegenden, 2 F. langen, 18 Zoll breiten und 15 Zoll tiefen harten Steinen bestehn, über welche die Wagenräder hinrollen. Diese Einrichtung verdient überall nachgeahmt zu werden, wo es schwere Lasten auf kurze Strecken zu transportiren giebt[1]; ein anderer, kürzlich in London gemachter Versuch aber, die Straſsen mit harten Steinen von etwa 10 Zoll Höhe und ebener, 8 Z. Seite haltender, quadratischer Oberfläche zu pflastern, wobei noch obendrein die Fugen durch einen dünnflüssigen Kalkmörkel ausgefüllt wurden, hat deswegen keine genügende Resultate gegeben, weil die Pferde wegen zu groſser Glätte darauf gleiten. Ist endlich die Reibung des Radkranzes auf dem Boden geringer als die an der Axe, so läuft das Rad nicht um, wie man zuweilen im Winter bei sehr glatten Schneebahnen und wenn die Schmiere durch Kälte erstarrt ist, wahrzunehmen pflegt.

3) Rollen die Räder nicht auf Stein- und Eisen-Bahnen oder hartem Steinpflaster fort, so erzeugen ihre Reifen einen Eindruck, ein Geleise, dessen Tiefe der Weichheit des Bodens direct, der breite der Radfelgen aber umgekehrt proportional ist. Nach den Untersuchungen von v. Gerstner, deren Mittheilung hier zu viel Raum erfordern würde, wächst der hierdurch erzeugte Widerstand in einem gröſseren Verhältnisse, als die Last; weswegen es vortheilhaft ist, beim Fahren auf weichem Boden die Last auf mehrere Wagen zu vertheilen, indem z. B. bei gleichem Gewichte der Lasten mit Einschluſs der Wagen die nämliche Last auf einem Wagen 16 Pferde, auf 8 Wagen vertheilt aber nur 8 Pferde erfordern würde. Hieraus geht hervor, daſs vierrädrige Wagen besser sind, als zweirä-

1 Es ist mir nicht unwahrscheinlich, daſs solche Steinbahnen auch auf längere Strecken die Eisenbahnen ersetzen könnten.

Digitized by Google

drige Karren, beider Gewichte als gleich angenommen; auſser-dem aber haben die letzteren noch den Nachtheil, daſs die auf der Axe der beiden Räder genau balancirte Last beim Bergabfahren zu sehr auf das Deichselpferd drückt, beim Berganfahren aber dasselbe hebt, und also durch beides die gleichmäſsige Kraftäuſserung desselben hindert. Es läſst sich ferner leicht übersehn, daſs hohe Räder den aus den Geleisen entstehenden Widerstand am leichtesten überwinden, hauptsächlich aber wird derselbe durch die gröſsere Breite der Radfelgen ausnehmend vermindert, und zwar im Verhältnisse der Kubikwurzeln aus dieser Breite, indem der Widerstand $w = \sqrt[3]{\frac{1}{b}} : \sqrt[3]{\frac{1}{b'}}$ ist, wenn b und b′ die Breite der Radfelgen bezeichnen. Man ersieht hieraus den Grund, warum die Fuhrleute bei schlechten Wegen die bereits ausgefahrnen Geleise suchen, wodurch jedoch die Straſsen noch mehr dem Verderben ausgesetzt sind; noch leichter aber ergiebt sich hieraus der Grund, warum in England, Frankreich und auch in einigen deutschen Staaten eine den Breiten der Felgen proportionale Ladung gesetzlich vorgeschrieben ist, in den beiden ersten Ländern auch an den Hauptstraſsen auf gewissen Strecken sich Waagebrücken (*ponts à bascule*) befinden, auf denen die Wagen gewogen werden, um ihr Totalgewicht mit der Breite der Radschienen zu vergleichen. In England datirt sich diese Einrichtung von der im 3ten Regierungsjahre Georg's IV. erlassenen Parlamentsacte, in Frankreich vom Regierungsdecrete vom 23ten Juni 1806, und besteht im letzteren Lande auſserdem das Gesetz, daſs die Hinterräder gerade um die Felgenbreite weiter als die vordern von einander abstehn müssen, so daſs also beide die Straſsen mehr festwalzen, als zerdrücken. Schlichtegroll[1] rechnet auf jeden Zoll Breite der Radschienen einen Druck von 320 ℔, also auf 10 Zoll 32 Cent. für jedes Rad, mithin für 4 Räder mit Inbegriff des Wagens 128 Cent., wovon bei 8 Pferden Bespannung auf jedes 16 Cent. kommen und also folgende zusammengehörige Gröſsen hervorgehn:

Last	Pferdezahl	Felgenbreite
32 Cent.	2	2,5 Zoll
64 —	4	5,0 —

1 Ueber den Nutzen der breitfelgigten Räder u. s. w. München 1819. 8. S. 34.

Digitized by Google

Last	Pferdezahl	Felgenbreite
96 Cent.	6	7,5 Zoll
128 —	8	10,0 —

Hiernach sind für Kutschen und leichteres Fuhrwerk die ungewöhnlich breiten Felgen nicht erforderlich. Aus den Resultaten der theoretiſchen Unterſuchungen und den vielen Erfahrungen des Grafen Rumford[1] geht hervor, daſs der Widerstand auch durch die gröſste Breite der Radschienen nicht vermehrt wird, selten aber lassen sich solche Räder von gleich geringem Gewichte, als die mit schmalen, verfertigen, der auf ebenen Straſsen verminderte Widerstand wird daher durch das Heben der Last auf den geneigten Ebenen der bergigen vermehrt, und hierin liegt der Grund des Widerspruchs, welchen solche in Frankreich und dem südlichen Deutschland übliche Räder anfangs im nördlichen fanden.

4) Die Tragkraft (rückwirkende Festigkeit) eines jeden Säulenschafts oder eines diesem ähnlichen Körpers ist am stärksten, wenn er vertical gegen die Last und gegen den Boden gerichtet ist, daher müssen die Räder zu gröſserer Dauerhaftigkeit rund seyn, d. h. die Speichen müssen eine rechtwinklige Richtung gegen die Nabe und gegen die Felgen haben. Es giebt aber auch konische Räder, die einen sehr stumpfen Kegel bilden, indem die Speichen vom Wagen abwärts gebogen sind. Für Stadtwagen ist diese Einrichtung vortheilhaft, weil sie eine gröſsere Breite des Wagenkastens, besonders am obern Theile desselben, gestattet, ohne anzustreifen oder ihn mit Koth zu beschmutzen, welcher bei schneller Bewegung gröſstentheils in der Richtung der Speichen fortgeschleudert wird. Hutton[2] hält diese Gestalt auch aus dem Grunde bei Lastwagen für vortheilhaft, weil die Räder zuweilen in tiefe Geleise oder sonstige Vertiefungen herabsinken und der hierdurch entstehende Stoſs dann die Speichen in verticaler Richtung trifft, während die Wirkung der Last auf die

1 Vergl. Bibl. Brit. XLVII. 82. G. XXXVIII. 331. Daſs breite Räder leichter über Steine hinrollen, hat man schon früher anerkannt. S. Phil. Trans. XVI. p. 856. Der Nutzen der breitfelgigen Räder (Roues à larges jantes) wurde 1781 durch Boulard und Marquerox in einer Preisschrift für die Academie zu Lyon nachgewiesen. S. Journ. de phys. XIX. 424.

2 Mathem. and philos. Dictionary T. II. p. 601.

Digitized by Google

Räder der andern Seite dann am geringsten ist. Allein schwer beladene Frachtwagen dürfen solchen heftigen Stöſsen nicht ausgesetzt werden, weil sonst die Ladung sich nicht fest erhalten würde, und auf jeden Fall sind solche seitwärts gerichtete Stöſse sehr selten gegen die zahllose Menge der verticalen Stöſse, die unausgesetzt durch die Unebenheiten der Straſsen erzeugt werden, und die konischen Räder in einer nachtheiligen Richtung treffen. V. Gerstner zeigt, daſs bei solchen konischen Rädern die ganze Fläche der Schienen nicht auf gleiche Weise mit der Ebene der Straſse in Berührung komme, weil die lothrecht auf die Speichen gesteckten Felgen eine schiefe Richtung erhalten, wodurch eine nachtheilige Reibung entstehn müsse; allein die Straſsen, die ohnehin oft etwas abschüssig sind, bilden keine so genaue Ebenen, daſs die geringe Abweichung bedeutend seyn könnte.

5) Die Tragkraft der Axen ist am gröſsten, wenn sie gerade sind, bei vielen Wagen aber, namentlich den Kutschen, sind sie an den Enden herabwärts gebogen, um dadurch in einer schmalern Spur zu laufen, ohne den breitern Kasten oder die Ladung zu berühren. Bei den leichteren Fuhrwerken entsteht hieraus kein bedeutender Nachtheil, die Last der schwereren aber erhält dadurch das Bestreben, die schief stehenden Räder mehr zu zerdrücken, wodurch sie früher wankend werden, abgerechnet, daſs solche Wagen leichter umfallen. Diese Ansicht ist wohl unzweifelhaft die richtige, ungeachtet Beigton [1] einige Vortheile einer solchen Construction aufzufinden sucht.

6) Bei den bisherigen Untersuchungen wurde eine gleiche Vertheilung der Last auf alle vier Räder, mithin auch eine gleiche Beschaffenheit der letzteren, angenommen. Oft aber sind die vorderen Räder der Wagen niedriger, und bei den Kutschen fast ohne Ausnahme, weil dann die niedrigern Räder tiefer unter dem höher liegenden Wagen laufen und hierdurch das Umwenden erleichtert wird, zu welchem Zwecke auch die Tragbäume der Wagen aufwärts gekrümmt (sogenannte *Schwanenhälse*) zu seyn pflegen. Hierdurch aber erhalten die Zugstränge eine Neigung gegen den Horizont, die Last muſs daher im Verhältnisse des Sinus dieses Neigungswinkels gehoben

1 Desaguliers Exper. Phil. T. II. Append.

Digitized by Google

werden, die Anwendung der Zugkraft findet aber nur im Verhältnisse des Cosinus desselben statt, woraus eine Verminderung der Kraft folgt, welche in dieser Beziehung nur dann ganz in Anwendung kommt, wenn die Zugstränge eine horizontale Richtung haben. Hieraus folgt also, daſs die vordern Räder den hintern gleich und von höchstens 5 Fuſs Durchmesser seyn müssen, weil eine gröſsere Höhe eine umgekehrte Neigung der Zugstränge zur Folge haben und hierdurch die Verwendung eines Theiles der Kraft zum Niederdrücken der Last erzeugen würde, die nicht bloſs zur Bewegung derselben gar nichts beitragen könnte, sondern diese vielmehr noch erschweren müſste. Für die leichten Stadtwagen ist dieser, ohnehin bloſs die minder beschwerten Vorderräder treffende, Kraftverlust ohne Bedeutung, indeſs bemerkt man doch deutlich bei sehr niedrigen Vorderrädern im Beginnen der Bewegung eine auffallende Hebung der Last. Bighton[1] nimmt jedoch auch für Lastwagen die niedrigen Vorderräder in Schutz, weil die Kraft der Pferde beim horizontalen Zuge nur gering sey, indem man bemerke, daſs sie bei starker Anstrengung sich vorn über bögen, wodurch ihre Brust tiefer herabkomme; auch sey ihre Kraftäuſserung gröſser, wenn sie einen Reiter auf ihrem Vordertheile trügen. Es hat dieses allerdings seine Richtigkeit, namentlich das letztere auffallende Resultat der Erfahrung; indeſs folgt dasselbe einfach aus dem Principe, daſs durch Vermehrung der bewegenden Masse auch das mechanische Moment wachsen müsse; allein in solchen Fällen geht die erforderliche Anstrengung des Pferds über die mittlere hinaus, kann daher nur kurze Zeit dauern und liefert also im Ganzen einen geringern Nutzeffect, weswegen auch ein auf diese Weise so übermäſsig angestrengtes Pferd, daſs es sich stets vorn über legen muſs, um die Last zu wältigen, oder noch obendrein das mit einem Reiter belastete weniger als ein im natürlichen Gange arbeitendes leisten wird. Weit gründlicher zeigt dagegen v. Gerstner, daſs bei beladenen Wagen und um so mehr, je höher die Ladung ist, der Schwerpunct der Last nicht in der Ebene der Axen liege, sondern höher, weswegen der Angriffspunct der Kraft nicht mit ihm zusammenfällt, woraus dann eine Umdrehung entstehen müſste, wenn der Widerstand der Straſse diese nicht hin-

1 Hutton Dictionary a. a. O.

Digitized by Google

derte. Eine tiefere Unterſuchung führt dann zu dem merkwürdigen Reſultate, daſs bei niedrigern Vorderrädern dieſen ein Theil der Laſt abgenommen und den Hinterrädern zugelegt wird, ſo daſs die Bewegung des Wagens durch dieſe excentriſche Richtung der Zugſtränge wirklich einige Erleichterung erhält, die mit der Verlängerung des Wagens abnimmt. Hieraus folgt alſo, daſs auf jeden Fall die Vorderräder keine ſolche Höhe erhalten dürfen, woraus ein Herabgehn der Zugſtränge unter die horizontale Richtung folgen würde, um ſo mehr als kurzdauernde ungewöhnliche Anſtrengungen der Pferde, die ein Vornüberlegen und ein Herabſinken der Höhe ihrer Bruſt veranlaſſen, unvermeidlich ſind, daſs aber die Vorderräder immerhin in dieſer Beziehung etwas niedriger ſeyn können, da auſserdem die Höhe der Räder überhaupt wegen der Reibung und Ueberwindung der Widerſtände der Straſsen ſo groſs ſeyn muſs, als die ſo eben angeführte Bedingung, ihr Gewicht, die Vermeidung zu ſtarken Schwankens und die erforderliche Dauerhaftigkeit verſtatten.

Als ein Zuſatz zur Unterſuchung der Wagenräder kann noch Folgendes betrachtet werden. Man hat beobachtet, daſs die Frachtwagen dann von ſelbſt von einer Anhöhe ſich herabbewegen, wenn dieſe auf 6 Fuſs Länge 2 Zoll Steigung hat. Da durch dieſes Verhältniſs der Höhe der geneigten Ebene zur Länge $= \frac{2}{72} = \frac{1}{36}$ die Hinderniſſe der Bewegung überwunden werden, ſo erhält man hierdurch die auf der Ebene erforderliche Kraft $K = \frac{1}{36} P$. Nach v. Gerstner beträgt bei gut abgerundeten, obendrein aber bei eiſernen Axen und Büchſen, desgleichen bei guter Schmiere der Reibungscoefficient $m = \frac{1}{8}$, welches gewiſs nicht zu gering angenommen iſt. Wird dieſer Werth in die oben mitgetheilte Hauptformel ſubſtituirt und zugleich die Höhe des Rads $=$ 4, 5 Fuſs, der Durchmeſſer der Axe aber $=$ 3 Zoll geſetzt, ſo iſt

$$K = m\,P\frac{r}{R} = \frac{1}{8}\,P.\ \frac{3}{54} = \frac{1}{144},$$

wenn bloſs die Reibung als das zu überwindende Hinderniſs der Bewegung betrachtet wird. Da aber ſo eben $K = \frac{1}{36}$ gefunden iſt, ſo folgt aus $\frac{1}{36} - \frac{1}{144} = \frac{1}{48}$, daſs die übrigen Hinderniſſe der Bewegung im Verhältniſſe von 144 : 48 zur Reibung ſtehn oder dreimal gröſser ſind. Wird der eben gefundene Coefficient der Summe aller Widerſtände als richtig

angesehn, so erhält man, die Kraft eines Pferds zu 100 ℔ angenommen, aus

$$100 = \frac{1}{36} P;\; P = 3600 = 36 \text{ Cent.}$$

als Ladung für 1 Pferd in der Ebene; und da für so kleine Winkel die Bogen den Sinus proportional geſetzt werden können, so würde 1 Zoll Steigung auf 12 Fuſs Länge schon eine Verdoppelung des erforderlichen Kraftaufwands erfordern. Hieraus ergiebt sich, warum Schlichtegroll nur 16 Cent. auf 1 Pferd rechnet, da Steigungen von der angegebenen Gröſse auf keiner längern Straſse gänzlich fehlen. Wie viel dagegen durch Umgehung steiler Anhöhen bei der Anlegung groſser Straſsen zur Förderung des Fuhrwesens gewonnen werde, geht hieraus klar hervor.

Aus allen bisher mitgetheilten Untersuchungen wird ersichtlich, daſs es vortheilhaft sey, die Achsen genau rund, von Eisen und so dünn zu machen, als die erforderliche Tragkraft verstattet. Die Naben müssen mit guten eisernen Büchsen versehn oder ganz von Eisen seyn, beträchtlich länger, als das Einfugen der Speichen erfordert, und genau auf die Achsen passen, damit sie nicht schlottern. Gewöhnlich haben sie einigen Spielraum zwischen dem Vorstecknagel (der Lünze), damit die Räder den Unebenheiten der Straſsen leichter ausweichen, auf sehr ebenen Straſsen ist es aber vortheilhafter, wenn dieser Spielraum sehr gering und die Räder am Ende verschlossen sind, um die flüssige Schmiere im Innern zu erhalten (*close ended wheels* der Engländer). Solche Naben werden in England sehr vortheilhaft von Guſseisen verfertigt. Die Speichen müssen auf ihnen vertical stehn, jedoch ist es nicht vortheilhaft befunden worden, die letzteren von Schmiedeisen zu verfertigen, weil die Räder dadurch zu schwer und in Folge zu harter Stöſse gegen die Unebenheiten der Straſsen bald verdorben werden. Vorzüglicher sind daher die hölzernen Speichen, weil sie mehr nachgeben, desgleichen hölzerne Felgen, die jedoch mit einem ungetrennten, durch vertiefte Nägel oder Schrauben befeſtigten, eisernen Reifen von der ganzen Breite der Felgen umgeben werden[1].

---

1 Aus der weitläuftigen Literatur über diesen Gegenstand nenne ich nur auſser der bereits erwähnten Mechanik von v. Gerstner noch einige classische Werke. N. Fuss Versuch einer Theorie des Wider-

B. Rad an der Welle.

Ist ein Rad, entweder mit Speichen und einem Kranze, oder eine massive Scheibe an einer Welle, einem willkürlich langen Cylinder, oder einem ähnlich gestalteten Körper, befestigt und wird dieser Apparat mechanisch so benutzt, daſs die Halbmesser beider als Hebel wirken, so nennt man diese einfache Maschine ein Rad an der Welle. Das hierbei zum Grunde liegende Princip ist kein anderes, als das für den Hebel gültige, wonach das statische Moment des Gleichgewichts die Gleichheit der Producte aus den Längen der Hebelarme in die Lasten erfordert. Es wird von dieser einfachen Maschine vielseitig Gebrauch gemacht, wonach sie dann verschiedene Abänderungen erleidet, die einzeln eigene Namen erhalten, im Ganzen aber in zwei Classen, mit horizontaler und verticaler Welle, zerfallen, obgleich es auch in seltenen Fällen gegen den Horizont geneigte Wellen giebt. Die vorzüglichsten hierzu gehörigen Maschinen sind folgende:

a) Das Rad an der Welle (*axis in peritrochio*; Axe dans la roue; *Wheel and axle*) besteht aus einem etwa 5 bis 20 Fig. 184.
Fuſs im Durchmesser haltenden Rade an einem langen, ohngefähr 6 bis 18 Zoll dicken, horizontalen, um eiserne, in festen Lagern ruhende, Zapfen beweglichen Cylinder, und wird meistens auf Speichern gebraucht, um schwere Lasten aufzuwinden und dort aufzubewahren. Das Rad C besteht der Leichtigkeit wegen in der Regel aus einem leichten Kranze mit einer durch zwei an den Seiten befestigte parallele Ringe gebildeten Rinne, worin ein Seil ohne Ende so liegt, daſs durch Ziehen an demselben das Rad nebst der Welle um die an den Enden der letztern befindlichen eisernen Zapfen A, B umläuft. Damit das Seil nicht gleite, ist es doppelt umgewunden, zuweilen auch mit Knoten versehen, welche hinter eiserne Gabeln fassen; auch haben manche Räder an der Peri-

---

standes zwei- und vierrädriger Fuhrwerke u. s. w. Kopenh. 1798. 4. Cl. Kröncke Versuch einer Theorie des Fuhrwerks u. s. w. Gieſsen 1802. 4. I. v. Baader neues System der fortschaffenden Mechanik u. s. w. München 1822. fol. Jacob's Observations etc. on Wheel-Carriages. Lond. 1773. Martin's Philos. Brit. cet. 1771. III T. 8. T. I. Ferguson's Lectures on Mechanics cet. enlarged by Brewster. III Vol. 1806. Emerson's Principles of Mechanics cet. 4. 1811.

Digitized by Google

pherie Zapfen, um vermittelst dieser umgedreht zu werden. Gröſsere Maschinen dieser Art haben am andern Ende der Welle noch ein kleines Sperrrad k mit einem Sperrhaken, damit die Last bei einem ungewissen Ereignisse nicht herabfallen und Beschädigung erleiden kann. Um das Verhältniſs der Kraft zur Last für den Zustand des Gleichgewichts zu finden, darf nicht vergessen werden, daſs die Dicke des um die Welle sich aufwickelnden Seils gegen den Durchmesser derselben oft nicht gering ist und daher mit in Rechnung kommen muſs. Heiſsen daher die beiden Lasten p und P, die Durchmesser des Rads und seines Seils D und d, der Welle und ihres Seiles Δ und δ, so ist

$$(D+d)\,p = (\Delta+\delta)\,P.$$

Soll dann Bewegung erfolgen, so müssen die Hindernisse derselben, nämlich Reibung und Steifheit der Seile, überwunden werden, worüber eigene Artikel nähere Auskunft geben. So lange die Richtung beider Seile mit der geometrischen Achse des Rads und der Welle zwei rechte Winkel bildet, ist ihre Richtung in der hierdurch gegebenen verticalen Ebene ohne Einfluſs, indem sie sich stets als Tangenten an den Umfang des Rades und der Welle anlegen und daher im Angriffspuncte mit dem von der Axe aus an diesen Punct gezogenen Radius allezeit einen rechten Winkel bilden.

b) Wenig verschieden hiervon, auf das nämliche Princip gegründet und daher eine gleiche Berechnung des Verhältnisses der Kraft und der Last gestattend sind die mancherlei Haspel (*Sucula;* Treuil; *Windlaſs*), die bei geringen Abänderungen eigenthümliche Namen erhalten. Diese sind das
Fig. 185. sogenannte *Spillenrad, Spindelrad* oder der *Radhaspel*, dessen Rad allezeit mit Spindeln oder Spillen versehn ist und sich meistens auſserhalb der Unterlage an dem einen verlängerten Ende des eisernen Tragzapfens befindet. Sind dagegen durch
Fig. 186. das eine oder durch beide Enden der Welle sich kreuzende Bäume durchgesteckt, so nennt man die Maschine einen *Kreuzhaspel*, befinden sich aber Kurbeln an beiden oder an einem
Fig. 187. Ende, so heiſst sie ein *Hornhaspel*. Meistens ist die Einrichtung derselben so, daſs die Last am einen Ende des Seiles heraufgewunden wird, während das leere Gefäſs am andern herabgeht. Bei sehr bedeutenden Tiefen müſste hierdurch die zu wältigende Last wegen ungleicher Länge des herabhän-

Digitized by Google

genden Seils höchst ungleich werden, allein man bringt bloſse Haspel selten oder nie bei so beträchtlichen Tiefen in Anwendung. Sollen am Hornhaspel viele Arbeiter angestellt werden, so giebt man ihnen gekröpſte Kurbeln, was keiner weitern Erläuterung bedarf. Eine eigenthümliche Art Haspel ist die *Gegenwinde* (Treuil différentiel) mit einer Welle, deren beide Hälften einen ungleichen Durchmesser haben. Die Last ist auf beide Seile vertheilt; weil aber bei der Umdrehung der Welle und einer gleichen Anzahl von Windungen ungleiche Längen der Seile auf- und abgewunden werden, so muſs hiernach die Last entweder aufsteigen oder herabsinken, und statt daſs beim gewöhnlichen Haspel für den Zustand des Gleichgewichts die Kraft zur Last sich umgekehrt wie die Längen der Kurbel und des Halbmessers der Welle verhält, so ist bei der Gegenwinde nur die halbe Differenz der Halbmesser der Welle in Rechnung zu nehmen. Heiſst also der Halbmesser des Maschinentheils, worauf die Kraft wirkt, $= R$, der Welle $= r$, für die Gegenwinde aber beide Halbmesser r und r', so ist für die ersteren und für die letztere Fig. 188.

$$1)\ k\,R = Pr;\quad 2)\ k\,R = P\left(\frac{r - r'}{2}\right).$$

Gegenwinden werden dann mit Nutzen angewandt, wenn bei dem erforderlichen Verhältnisse der Kraft zur Last der Halbmesser der Welle zu klein und diese daher zu schwach werden würde, also wenn groſse Lasten auf geringe Höhen zu heben sind, indem für gröſsere Höhen ein zu langes Seil erforderlich wäre.

c) Ein vielfacher Gebrauch wird vom Rade an der Welle gemacht, wenn die Einrichtung so ist, daſs die Welle vertical steht, in welchem Falle die Maschinen den gemeinschaftlichen Namen Winde (*Ergata;* Cabestan; *Capstan*) erhalten. Hierher gehört die gewöhnliche *Winde*, eine verticale Säule, um welche das belastete Seil gewunden wird und an deren unterem Ende in der erforderlichen Höhe zwei oder mehrere horizontale Stangen befindlich sind, an denen die Arbeiter die Säule um ihre Axe drehn. Es bedarf nur angedeutet zu werden, daſs man statt dieser Stangen, wenn groſse Lasten zu überwinden sind, nur einen einzigen langen Baum durchsteckt, am Ende desselben einen Strick befestigt und diesen auf eine zweite Winde aufwickelt, auf diese Weise also zwei Fig. 189.

Winden mit einander verbindet, desgleichen daſs man statt des Aufwindens des Seils diese Winde auch zur Bewegung einer Schraubenspindel, eines Getriebes oder auf sonstige vielfache Weise benutzen könne. Eine zweite Art ist die *Erdwinde* oder bewegliche Winde, die leicht an jeden erforderlichen Ort transportirt werden kann, wo man das Gerüst mit schweren Steinen belastet und dann vermittelst des Seils groſse Lasten fördert. Die am meisten gebräuchliche Species ist die *Schiffswinde*, auch *Cabestan* (Cabestan; *Capstan* in engerer Bedeutung) genannt, deren man sich hauptsächlich und fast ausschlieſslich auf den Schiffen zur Hebung der schwersten Lasten, namentlich der Anker, bedient, weswegen sie sehr stark und meistens von Eisen zu seyn und daher entfernt von der Magnetnadel am Vordertheil des Schiffs angebracht zu werden pflegen. Sie bestehn meistens aus einem starken, unten auf einem eisernen Zapfen ruhenden Kegel A, welcher bis an das Verdeck reicht, dort einen ziemlich breiten, die Oeffnung ganz bedeckenden, Ring hat, über welchem ein Cylinder oder meistens ein nach oben etwas verjüngter abgekürzter Kegel befindlich ist, dessen oberer Theil abermals einen mit vielen Löchern versehenen Kranz trägt, um die zur Ersparung des Raums bloſs eingesteckten Stangen aufzunehmen, vermittelst deren die Winde umgedrehet wird. Der zum Umwinden des Seils oder der Ketten dienende Theil hat selten die Höhe von nur 3 Fuſs, kann daher keine groſse Länge der ohnehin so dicken Seile ober Ketten aufnehmen, und diese werden daher meistens nur zwei- oder dreimal umgeschlungen und gleichzeitig wieder abgewickelt, indem entweder ein oder einige Arbeiter das abgewickelte Ende stark anziehn oder auf einen zweiten kleinern Cabestan winden.

Fig. 190. Fig. 191.

d) Es giebt noch eine Menge zum Rade an der Welle gehörige und auf das nämliche Princip zurückkommende Maschinen, die wir hier gelegentlich mit namhaft machen können. Hierhin gehört 1) der *Krahn* oder *Kranich* (*Grus*, *Geranium;* Grue; *Crane*), dessen man sich allgemein da bedient, wo Schiffe ein- und ausgeladen werden. Es giebt zwei Arten desselben. Die eine Art, für geringere Lasten bestimmt, hat zum Aufwinden des Seils einen blossen Haspel, zuweilen auch ein Spillenrad oder selbst ein Laufrad, die andere ist mit Rad und Getriebe versehn, bei beiden ist ein

Digitized by Google

etwas gegen den Horizont geneigter Balken mit einer Rolle, über welche das Tragseil geht, und eine Einrichtung zur Umdrehung der ganzen Maschine, um die gehobenen Lasten auf kurze Strecken in horizontaler Ebene zu bewegen, nothwendiges Erfordernifs. Da die Welle bereits beschrieben und durch Zeichnungen hinlänglich erläutert ist, so beschränke ich mich auf die Einrichtung der gröfsern Krahne mit Rad und Getriebe, worauf dann dasjenige angewandt werden kann, was im folgenden Abschnitte über dieses mechanische Mittel vorkommen wird. Solche Krahne bestehn aus einer langen und starken eisernen Säule F, welche mit einem Zapfen in der Pfanne B Fig. 192.
ruht und oben im eisernen Ringe CC um ihre Axe drehbar ist. Das Rad O, durch das Getriebe P, die beiden Räder R und die Kurbel T in Bewegung gesetzt, dient dazu, den Krahn zu drehn und die Lasten vom Lande in die Schiffe zu laden oder umgekehrt. Die verticale Säule F′, die geneigte E mit den Frictionsrollen a, a′ zum Halten der Kette oder des Seils H, die schräge Strebe D nebst der Rolle m sind an sich klar. Die Hebung der Lasten geschieht dann durch die Kette, welche um die Welle G gewunden wird, die ihre Umdrehung durch das Rad I, dieses durch die Welle K, letztere durch das Rad L und dieses durch die vermittelst einer Kurbel umgedrehte Welle M erhält. Es fällt in die Augen, dafs auf diese Weise die Kraft ausnehmend vermehrt werden müsse, auch heben die Krahne ganz unglaubliche Lasten, namentlich der stärkste auf den Catharinen-Docks in London 39 Tonnen oder 780 Centner. Einer Art transportabler Kraniche, eigentlich einer Erdwinde, bei welcher die Welle durch Rad und Getriebe umgedreht wird, bedient man sich in England zum Ausreifsen der Baumstämme. Indem man nämlich das Gestell mit einer Kette an einem oder mehreren Baumstämmen unbeweglich befestigt, dann die Kette der Welle um den auszureifsenden Stamm festschlingt und sie vermittelst der Welle anzieht, so mufs bei hinlänglicher Kraft der eine der Stämme nachgeben und ausgerissen werden.

2) Der *Göpel* (Engin; *Gin*, abgekürzt statt *Engine*), meistens *Pferdegöpel* genannt, wird vielfach zum Aufwinden grofser Lasten aus der Tiefe, namentlich der Erze aus den Bergwerken, angewandt und meistens durch Pferde, zuweilen aber auch durch Wasser betrieben. Meistens besteht derselbe

Digitized by Google

aus einer um ihre Axe drehbaren Säule, dem *Spindelbaume*, oben mit einer Trommel, dem *Treibkorbe*, unten mit einer oder mehreren Hebelarmen, den *Kreuzbäumen*, versehn, vermittelst deren die Maschine zuerst nach der einen und dann nach der entgegengesetzten Seite abwechselnd umgedreht wird. Um den Treibkorb sind Seile oder Ketten nach entgegengesetzten Seiten gewunden, so daſs das eine auf und das andere gleichzeitig abgewickelt wird und die Tonne des einen aufsteigt, wenn die des andern herabsinkt. Indem hierdurch dem Zeitverluste des nutzlosen Herablassens vorgebeugt, auch die erforderliche Kraft durch das Gewicht der leer herabgehenden Tonne vermindert wird, beide Seile aber vom Treibkorbe aus in nahe horizontaler Richtung bis zur Oeffnung fortlaufen und dort über Rollen oder Walzen herabhängen, deren Höhe bis zur Mitte des ihrem Seile zugehörigen Theils des Treibkorbs reicht, so ist hiermit alles zweckmäſsig genug eingerichtet; allein bei sehr bedeutenden Tiefen kommt durch das Gewicht des einen Seils, woran die beladene Tonne (der *Treibsack*) vom tiefsten Puncte an aufgewunden werden soll, während die leere Tonne herabzugehn anfängt, ein bedeutendes Uebergewicht auf die eine Seite, nimmt allmälig mit der Verlängerung des Seils an der leeren Tonne und Verkürzung des an der beladenen ab, bis beide sich ausgleichen und die erforderliche bewegende Kraft $K = 0$ wird; von hier an aber wird das Seil der leeren Tonne schwerer (die beiden, einander stets ausgleichenden, Tonnen vernachlässigt) und wächst als negatives K. Nach den Erfahrungen von Delius, Poda und andern nimmt v. Gerstner[1] das Gewicht eines Lachters solcher Seile zu 10 Pfund an, welches für 90 Lachter also 9 Centner, mithin so viel als das Gewicht der Erze in der Tonne beträgt, bei 150 Lachtern aber 6 Centner mehr, so daſs am Ende der Drehung $K = -6$ Centner und nach Ausleerung der gehobenen und Füllung der herabgelassenen Tonne beim Wieder-Aufwinden in entgegengesetzter Richtung $K = 24$ Centner beträgt. Zur Ausgleichung dieser sehr ungleichen Werthe von K pflegt man sich, um $-K$ unschädlich für die arbeitenden Pferde zu machen, des *Schlepphunds*, einer Schleife mit Steinen beschwert, zu bedienen, den

1 Handbuch der Mechanik. Th. I. S. 219.

man an den Kreuzbaum anhängt, damit nicht der Göpel gegen das Ende mit beschleunigter Bewegung von selbst umlaufe. Aus einer genauern, die Hindernisse der Bewegung berücksichtigenden, Berechnung ergiebt sich, daſs die zu bewegende Last für eine Tiefe von 150 Lachtern und die angegebenen Gröſsen zwischen 26 und — 4 Centner wechselt.

Um diesem Uebelstande abzuhelfen, hat man unten an den Tonnen noch ein Gegenseil angebracht, welches beim Aufsteigen derselben gehoben, beim Herabgehn auf dem Boden niedergelegt wurde, so daſs also stets an beiden Seiten gleiche Längen des Seils herabhingen, allein dieses ist für so bedeutende Höhen ein nutzloser Aufwand. Ein anderes Mittel bestand darin, die Treibkörbe konisch zu machen, wobei die zur Ausgleichung erforderlichen Halbmesser der Kegel leicht bestimmbar sind. Noch angemessener aber sind die *Spiralkörbe*, wie man sie durch v. Gerstner[1] nach einer von 1793 bis 1824 zu Kruſsna Hora unausgesetzt gebrauchten Maschine beschrieben findet. Der ganze Göpel besteht zuerst aus diesem Korbe AA, dessen Höhe und verschiedene Halbmesser Fig. 193.
der Spirallinie durch Berechnung gefunden werden. Die Scheidewände der Spiralwindungen sind durch schwache Breter gebildet, in der Mitte aber befindet sich ein Cylinder B zum Aufwinden der leeren Ketten, wenn aus verschiedenen Tiefen Erze gefördert werden. Der *Wellbaum* ist oben viereckig, tiefer herab achteckig und mit 8 Streben C, C... versehn, um den Korb in unverrückter Lage zu erhalten. Der *Kreuzbaum (Schwengbaum)* D und das Gerüst, worin der untere Zapfen der Welle ruht, sind von selbst klar, jedoch muſs die Einrichtung so gemacht werden, daſs man den Stift und die Pfanne, wenn beide sehr abgenutzt sind, herausnehmen und durch neue ersetzen kann. Damit die Seile oder Ketten nicht von den Spiralwindungen herabgleiten, sind die Rollen α und β angebracht, die von hinlänglicher Breite und einem solchen Abstande, als der beider Seile erfordert, in einem Rahmen befestigt werden, welcher sich an der Stange i K auf- und abwärts bewegt, indem der Kasten K hinlänglich beschwert

1 Abhandlung über die Spirallinie der Treibmaschinen u. s. w. von Franz Ritter v. Gerstner. Prag 1816. Dem Wesen nach in dem erwähnten Handbuche d. Mechanik Th. I. S. 223.

Digitized by Google

ist, um dem Rahmen mit den Rollen und den auf letztere drückenden Theilen des Seils das Gegengewicht zu halten. Die aus der Figur ersichtlichen Furchen in dem Rahmenstücke dienen dazu, damit der Rand der oberen Spirale des Korbes in sie, wie eine Schraube ohne Ende, eingreife und den Rahmen herabziehe. Da es sehr nöthig ist, die Maschine in jedem Augenblicke anzuhalten, so ist ein Bremswerk angebracht, nämlich zwei Bremsklötze, welche vermittelst eines geeigneten Mechanismus an den untersten Kranz des Treibkorbes hinlänglich fest angedrückt werden. Die übrigen Theile der Maschine sind aus der Figur klar, eine Hauptsache ist indeſs die Aufgabe, die Radien der einzelnen Spiralwindungen zu berechnen, welches vollständig durch v. Gerstner gezeigt worden ist. Aus einer Zusammenstellung der Werthe solcher Spiralwindungen mit denen auf einem abgekürzten Kegel geht aber hervor, daſs beide nur unmerklich, am wenigsten bei schweren Lasten aus tiefen Schachten, von einander verschieden sind, und es genügt daher für die Praxis, nur die Halbmesser der untersten, obersten und mittlern Windung zu berechnen und für die übrigen die konische Form zu wählen. Die Elemente dieser Rechnung werden übrigens aus der Länge und dem Gewichte der Seile oder Ketten nebst der Last der Ladung in den Tonnen entnommen, da die Gewichte der Tonnen stets einander compensiren; zur Auffindung der erforderlichen Kraft sind aber auch diese und der Reibungscoefficient zu berücksichtigen. Es ist dabei übrigens vortheilhaft, statt der Seile Ketten anzuwenden, weil man dabei nach gehöriger Prüfung gegen das Brechen derselben und die hieraus entstehenden Unfälle gesichert ist; zudem verstatten die Ketten leichter als die Seile, daſs sie von unten nach oben in demjenigen Verhältnisse, in welchem ihre Belastung durch ihr eigenes Gewicht zunimmt, dicker gemacht werden, woraus erklärbar ist, daſs die Treibketten in der That leichter sind, als die Seile.

3) Die *Treträder* oder *Laufräder* (Roue de carrière; *Tread-Mill*) und die *Tretscheibe* gehören unter die bekannteren Maschinen. Von den erstern gibt es zwei Arten; zuerst solche, bei denen das bewegende Gewicht an der äuſsern Seite des Radkranzes, und zweitens solche, bei denen es an der innern angebracht ist; weil jedoch die erste Art wegen groſser Unbequemlichkeiten jetzt wohl überall nicht mehr in

Digitized by Google

Anwendung kommt, so genügt es, hier nur die zweite kurz zu beschreiben. Solche Treträder bestehn aus einer horizontalen Welle mit zweimal 4, 6 oder 8 einander parallelen Fig.
und 2 bis 4 Fuſs von einander abstehenden, in die Welle ein- 194.
gelassenen Speichen, deren äuſsere Enden durch zwei gleichfalls einander parallele Ringe verbunden sind. Werden dann über diese Ringe Breter genagelt und dem Erfordernisse gemäſs befestigt, so giebt dieses den Radkranz, in welchem Menschen oder Thiere sich bewegen und durch ihr Gewicht das Rad umtreiben. Damit diese nicht herausfallen, gehn die genannten Ringe hoch an den Speichen herauf, vortheilhafter aber werden an den Seiten zwei parallele Barrieren angebracht, zwischen denen das Rad umläuft, und zugleich wird in der einen von diesen eine geeignete Thür angebracht, um durch diese in den Radkranz zu gelangen. Der Halbmesser der für Menschen bestimmten Räder beträgt mindestens 8 Fuſs, damit die Arbeiter noch aufrecht darin stehn können, der für Thiere eingerichteten meistens 10 bis 12 und wohl noch mehr Fuſs.

Um das Verhältniſs der Kraft zur Last beim Tretrade zu Fig.
finden, sey P die zu hebende Last, das bewegende Gewicht P′ 195.
wirke in a, also in der Richtung B′a, so ist nach dem allgemeinen Gesetze des Hebels $P . C'D = P' . C'B'$ oder $P : P' = B'C' : C'D$. Ferner sollte die Umdrehung des Rads durch $C'a$ geschehn, sie geschieht aber wirklich nur durch $B'C'$, mithin verhält sich die wirklich in Ausübung kommende Kraftäuſserung zur absoluten, wie $B'\,C' : C'a$; wegen der Aehnlichkeit der Dreiecke CAB und $C'aB'$ ist also die Arbeit die nämliche, als ob der Mensch oder das Thier sein eigenes Gewicht auf der geneigten Ebene bewegt, und da diese Art der Kraftanwendung keineswegs die vortheilhafteste ist, so folgt hieraus, daſs auch die Treträder keineswegs mit Vortheil angewandt werden, da sie wegen ihrer Gröſse nicht überall Anwendung leiden, kostbar sind, stark gebaut seyn müssen, um die bedeutende Last zu tragen, dann durch ihr Gewicht die Reibung vermehren und bei zu hebenden Lasten, wenn die Menschen oder Thiere zu weit rückwärts treten, wohl gar so stark umzulaufen anfangen, daſs beide dadurch groſsen Beschädigungen ausgesetzt werden. Aus diesem Grunde ist es nothwendig, bei ihnen eine Vorrichtung, z. B. ein Bremswerk, anzubringen, um sie augenblicklich festzustellen. Weit vortheilhafter sind

Digitized by Google

daher die Spillenräder, hauptsächlich wenn man die Spillen ſeitwärts am Rade anbrächte und ſo einrichtete, daſs ein feſtſitzender Arbeiter ſowohl die Hände als auch die Füſse zur Bewegung anwenden könnte.

Bei weitem am zweckmäſsigſten für die Anwendung iſt
Fig. 196. das gegen den Horizont geneigte Tretrad oder die Tretſcheibe. Sie beſteht aus einer groſsen Scheibe, welche an einer lothrecht durch ihre Mitte gehenden Welle befeſtigt iſt und durch eine Neigung der letztern gleichfalls eine Neigung gegen den Horizont erhält. In der Regel geht ihre tiefſte Stelle bis zur Ebene des Fuſsbodens herab, ſo daſs der Arbeiter oder, was wohl in der Regel ſtets der Fall zu ſeyn pflegt, das arbeitende Thier bequem auf dieſelben treten und ſeinen Lauf beginnen kann. Um den Rand der Scheibe läuft entweder ein Kranz, oder beſſer wird bloſs für die Länge des arbeitenden Thiers auf dem Fuſsboden eine nach dem Umfange der Scheibe gekrümmte Barriere aufgerichtet, beides damit das Thier nicht von der Scheibe herabgleite. Die Maſchine gewährt vor dem Tretrade den Vortheil, daſs die bewegende Kraft dem Centro näher rücken oder ſich weiter davon entfernen kann, wodurch im erſten Falle das ſtatiſche Moment verringert, die Geſchwindigkeit aber vermehrt, im letzern aber das ſtatiſche Moment vermehrt und die Geſchwindigkeit verringert wird, in beiden Fällen wird aber durch die mittlere Geſchwindigkeit der arbeitenden Menſchen oder Thiere der gröſste Nutzeffect erhalten.

Auch hierbei wird das Verhältniſs zwiſchen Kraft und
Fig. 197. Laſt ſehr leicht gefunden. Es wirke die Kraft im Puncte a, ſo wirkt ſie in der verticalen Richtung ac. Wird ſie nach dem Parallelogramme der Kräfte in aq und ab zerlegt, die Parallelen qc und cb als Hülfslinien gezogen, ſo iſt ab auf die Ebene der Scheibe ſenkrecht, kann ſie alſo nicht umdrehn, indem letzteres nur durch aq geſchieht. Wird aq bis C und A verlängert, die horizontale BA und die verticale CB gezogen und ſo das Dreieck ABC dem Dreiecke $a$bc gleich gemacht, ſo folgt, daſs der umdrehende Theil der Kraft ſich zur ganzen verhält, wie CB zu AC oder wie die Höhe der geneigten Ebene zu ihrer Länge, und es iſt alſo genau, als ob das arbeitende Thier ſeine eigene Laſt auf der geneigten Ebene bewege. Wird das Gewicht eines Menſchen zu 125 und ſeine Kraftanwendung zu 25 ℔., alſo zu 0,2 von jenem angenommen,

so muſs sin. CAB = sin. $\alpha = 0{,}2$ oder $= 11° 32'$ seyn, und dieser Neigungswinkel ist daher der geeignete für die Tretscheibe bei der Anwendung der menschlichen Kraft. Das Gewicht eines Zugpferds setzt v. GERSTNER = 7,5 Centner und seine mittlere Kraft = 1 Centner, woraus also folgt, daſs sin. $\alpha = \frac{1}{7{,}5} = 7° 40'$ seyn müsse. Es ist übrigens keinesweges nothwendig, daſs die Lastthiere bei der Tretscheibe bloſs durch ihr Gewicht wirken, vielmehr können sie auch ziehn, indem man die Waage an einem unbeweglichen Balken festbindet und sie daran spannt, wonach dann die Scheibe unter ihren Füſsen ausweicht. Dabei muſs der Neigungswinkel der Scheibe kleiner seyn und könnte selbst = 0 werden, ohne den Nutzeffect zu vermindern. Da die Kraftäuſserung der Pferde durch das Steigen auf der geneigten Ebene sehr vermindert wird, so scheint die letztere Einrichtung Vorzüge darzubieten; es sind mir jedoch keine vergleichenden Versuche hierüber bekannt[1].

C. Rad und Getriebe.

Das Gesetz des Hebels kommt am einfachsten in Anwendung beim Rade und Getriebe, wovon man auf folgende einfache Weise zu einer klaren Vorstellung gelangen kann. Angenommen man habe die beiden Scheiben A und B von gleichen oder verschiedenen willkürlich groſsen Halbmessern, die sich im Puncte α berühren. (Fig. 198.) Wird die eine derselben um ihre Axe gedreht, so läuft auch die andere um, und beider Peripherieen legen sich an einander so an, daſs gleiche Längen derselben fortwährend mit einander in Berührung kommen; die Zahl ihrer Umläufe wird also der Gröſse ihrer Umfänge umge-

1) Eine bei allen Arten des Rads an der Welle vorkommende Untersuchung über den Druck auf die Zapfenlage übergehe ich Kürze halber. Zur Literatur verweise ich auf die Werke über Mechanik, von LEUPOLD Theatr. mach. an bis auf die neuesten mehr erwähnten von v. LANGSDORF, BORGNIS, CHRISTIAN, HACHETTE, EMERSON, insbesondere v. GERSTNER u. a. Für das Geschichtliche ist die Aufrichtung des groſsen Obelisks durch FONTANO im J. 1687 mit 40 Winden bei einer Last von 9600 Centner, die SCHEUCHZER in Oedipus Aegyptiacus T. II. p. 70. und besser NIC. ZABAGLIA in: Castelli e Ponti Ital. e Lat. Romae 1743. fol. beschrieben, vorzüglich wichtig.

kehrt proportional seyn, und eben dieses Verhältniſs findet demnach auch rücksichtlich ihrer Geschwindigkeiten statt. Indem nun zugleich die Umfänge sich verhalten wie die Halbmesser, diese aber, so lange die Umdrehung erfolgt, wie Hebelarme auf einander wirken, so folgt hieraus, daſs wie beim Hebel für den Zustand des Gleichgewichts *die Lasten sich umgekehrt wie die Halbmesser*, bei der Bewegung aber *die Geschwindigkeiten sich umgekehrt wie die Lasten verhalten*. Wird der eine der Halbmesser unendlich lang, so daſs jeder endliche Bogentheil des Umfanges mit einer geraden Linie zusammenfällt, so erhält man eine gerade Stange, die an einem Cylinder oder einer Rolle fortgeschoben diese um ihre Axe dreht. In der praktischen Anwendung kommen beide genannte Arten von Scheiben vor, nämlich bei Walzen, welche mit ihren Oberflächen einander berührend gemeinschaftlich umlaufen, und bei Zeigern an einem Cylinder, welcher durch einen an seiner Oberfläche angedrückten Stab um seine Axe gedreht den auf ihm festgesteckten Zeiger umdreht, eine für feine Bewegungen sehr zweckmäſsige Vorrichtung, deren man sich in geeigneten Fällen dreist bedienen kann, da die Reibung am möglichst polirten Zapfen allezeit geringer ist, als an der absichtlich rauh gefeilten, oder noch besser matt geschliffenen, Oberfläche der Stange und Rolle, die durch einen längern Hebelarm auf einander wirken. Einen solchen Mechanismus hat unter andern Mortimer bei seinem Pyrometer und der hiesige Mechanicus Schmidt an den bekannten Dynamometern zur feinen Bewegung der Zeiger angebracht.

In den meisten Fällen würden jedoch solche Rollen oder Walzen, insbesondere bei erforderlicher groſser Kraftanwendung, über einander hingleiten, welches durch gröſsere Rauheit derselben verhindert werden könnte. Am vortheilhaftesten würde diese Rauheit seyn, wenn die Erhabenheiten der einen Fläche genau in die Vertiefungen der andern fielen, wobei der Natur der Sache nach deren Höhe und Tiefe gleichgültig ist, wenn nur die Flächen beider genau mit einander in Berührung bleiben. Indem dieses künstlich genau hergerichtet wird, erhält man das Rad und Getriebe (*Rota cum rotula;* Roue et pignon; *Wheel and pinion*), welche vereint ein Räderwerk (*Systema rotarum*; Rouage, Système de roues et de pignons; *Wheelwork*) bilden. Die Erhabenheiten sind entweder in die

Digitized by Google

Peripherie des Rads eingeschnitten (*Dentes*), oder bestehen aus eigenen, in dieselbe eingelassenen Kammen (*Paxilli*, Aluchons), und heiſsen im Allgemeinen Zähne (Dents; *Teeth*), daher ein gezahntes Rad (*Rota dentata;* Roue dentée; *Toothed wheel*); die mit Vertiefungen versehenen Walzen, die jedoch zuweilen gleichfalls gezahnte Räder sind, heiſsen Getriebe, Triebstöke,Treibstöcke, Treib- und Trieb-Stecken, Trillinge (*Rotulae;* Pignons; *Pinions*), werden jedoch bei den folgenden Untersuchungen stets Getriebe von mir genannt werden.

Die Räder sind fast ohne Ausnahme kreisförmig und bestehn aus einer auf ihrer Welle festsitzenden Scheibe, oder sind durchbrochen und mit einer beliebigen Menge, nicht leicht weniger als vier, Speichen versehn, auf welchen der Kranz, ein Ring, zur Bildung des Radumfanges, befestigt ist. Es giebt Fig.
drei Arten von Rädern, das *Kronrad* (Roue à couronne; 199 bis
Crown wheel), das *Sternrad* oder *Stirnrad* (Roue platte, 201.
Spur wheel, spur gear) und das *konische* Rad (*Bevelled wheel*), die sich nach der Richtung der Zähne unterscheiden. Bei dem ersten stehn diese nämlich auf dem Radkranze und gegen die Axe der Welle perpendiculär, beim zweiten stehn sie auf der Seite des Radkranzes vertical und mit der Axe parallel, beim dritten stehn sie schräg und bilden daher einen Kegel. Bei der Anwendung der Sternräder bleibt die Bewegung stets in der nämlichen Ebene, die Verbindung mit Kronrädern verstattet eine Uebertragung in eine andere um 90° verschiedene, die Anwendung der konischen Räder eine solche in jedem beliebigen Winkel, wie sich aus der Figur ergiebt. Die Zähne des einen Rads greifen entweder in die Zähne eines andern ein, oder in ein eigenes kleineres Getriebe, welches entweder aus einem mit Furchen versehenen Cylinder besteht, oder aus zwei parallelen, in einem gewissen Abstande von einander befestigten, Scheiben (tourtes, tourteaux) mit lothrecht zwischen beiden feststehenden *Spillen* (*Triebstecken;* fuseaux), welche Vorrichtung im Ganzen auch Getriebe, speciell aber *Triebstock* (*Laterna*; Lanterne; *Lanterne*) heiſst. Wenn wir vorläufig annehmen, daſs die Zähne und Getriebe genau in einander greifen, so wird das oben gegebene allgemeine Gesetz der Räder nicht aufgehoben, vielmehr ist die geometrische Grenze der mit ihren Oberflächen an einander umlaufenden Cylinder in der Mitte der Höhe der Erhabenheiten, und die Länge der

Digitized by Google

zur Berechnung kommenden Hebelarme ist also durch die Länge der Halbmesser des Rads und des Getriebes bis an den Anfang der Zähne, vermehrt um die halbe Höhe der letztern, gegeben. Man kann der Leichtigkeit wegen die beiden Summen durch R und r ausdrücken, auch ist es bei hinlänglich genauer Arbeit der Räder und Wellen gleichgültig, ob man die Radien beider vom Centrum bis an den Anfang, die Mitte oder das Ende der Zähne miſst, sobald nur bei beiden die nämliche Norm statt findet.

Nach dem bisher Mitgetheilten ist es gleichgültig, wie viele Zähne man den Rädern giebt, jedoch dürfen sie nicht so weit von einander abstehn, daſs sie nicht zeitig genug in einander greifen, und da auſserdem ihre Wirkung in dem Momente am stärksten ist, in welchem ihre Berührungslinie verlängert durch beider Mittelpuncte geht, so müssen sie einander möglichst nahe seyn, damit die Angriffspuncte zweier benachbarter Zähne über und unter dieser Linie keinen zu groſsen Abstand von derselben haben. Die hiernach vortheilhafte Nähe derselben findet ihre Grenze in der nöthigen Stärke der Zähne, die zu dünne gemacht den erforderlichen Widerstand nicht leisten würden, wobei sich von selbst versteht, daſs die Zähne und die Zwischenräume (creux) am Radkranze einander gleich seyn müssen, obgleich man in der Ausübung die Dicke der Zähne um sehr wenig kleiner zu machen pflegt. Hiernach wird dann auch die Zahl der Zähne oder Stäbe des Getriebes bestimmt. Weniger als 4 derselben können überall nicht stattfinden, und schon bei dieser Zahl beträgt der Abstand des fortgetriebenen und des wieder ergriffenen Zahns von der Linie durch die Mittelpuncte beider Räder 45°, wodurch ein groſser Theil der Kraft verloren geht, und man sieht daher 5 Zähne als das Minimum an, wählt aber als solches meistens 6. Uebrigens folgt aus der Theorie, wonach die Räder und Getriebe als Cylinder betrachtet werden, die sich mit ihren Oberflächen über einander wälzen, wonach also die Erhabenheiten des einen genau in die Vertiefungen des andern fallen müssen, auf welche Weise ein Räderwerk für den jedesmal vorliegenden Zweck eingerichtet werden muſs. Es handelt sich nämlich nach dem Gesetze des Hebels jederzeit entweder um die Vermehrung der Kraft oder der Geschwindigkeit, welche beide einander entgegengesetzt sind. Soll eine von diesen um das

Digitized by Google

n fache vermehrt werden, ſo muſs das eine Rad 1 mal, das andere $\frac{1}{n}$ mal umlaufen, mithin der Halbmeſſer des einen = 1, des andern = $\frac{1}{n}$ seyn. Wäre z. B. n = 10, ſo wäre der Halbmeſſer des Rads = 1, des Getriebes = $\frac{1}{10}$, oder beſſer jener = 10, dieſer = 1, woraus dann folgt, daſs bei ſo groſsen Verhältniſſen die Zähne des Getriebes im Minimum = 6, die des Rads = 60 zu nehmen wären, obgleich auch beide = m und = m. $\frac{1}{n}$ genommen werden könnten. Iſt der Werth von n zu groſs, z. B. = 100, ſo würde das Rad im Verhältniſſe zum Getriebe zu groſs, und es laſſen ſich dann mehrere Räder mit einander verbinden, um ein ſogenanntes Räderwerk zu erhalten. Indem aber für jedes neue Rad mit ſeinem Getriebe das nämliche Verhältniſs wiederkehrt, ſo wird das Verhältniſs beim Räderwerke durch die Producte aller Räderhalbmeſſer und aller Getriebehalbmeſſer gegeben, alſo, wenn jene durch R, dieſe durch r bezeichnet werden, durch $R'. R'' \ldots\ldots R^n$ und durch $r'. r'' \ldots\ldots r^n$. Es iſt alſo für den Zuſtand des Gleichgewichts, und ohne Rückſicht auf die Hinderniſſe der Bewegung, wenn durch die Wirkung der Getriebe auf die Räder eine gröſsere Kraft erzeugt werden ſoll, das Verhältniſs zwiſchen Laſt und Kraft oder, was einerlei iſt, zwiſchen beiden Laſten oder beiden Kräften

$$P : P' = R'. R''\, R''' \ldots\ldots R^n : r'. r''. r''' \ldots\ldots r^n$$

und zwiſchen beiden Geſchwindigkeiten

$$V : V' = r'. r''. r''' \ldots\ldots r^n : R'. R''. R''' \ldots\ldots R^n.$$

Da beide einander entgegengeſetzt ſind, ſo folgt, daſs durch den Mechaniſmus der Räder und Getriebe weder an Kraft noch an Geſchwindigkeit *abſolut* gewonnen, ſondern allezeit durch die Hinderniſſe der Bewegung ein Verluſt erzeugt wird. Könnte aber ein Menſch eine Laſt von 25 ℔ in 1 Secunde 1 Fuſs hoch heben, ſo vermag er vermittelſt des Räderwerks, wenn $\frac{R.R'}{r.r'} = 60$ iſt, in 1 Minute 1500 ℔ auf dieſelbe Höhe zu heben, die Hinderniſſe der Bewegung einſtweilen nicht berückſichtigt.

Nach den bisherigen Unterſuchungen wären bei der Anlage der Räder und Getriebe bloſs die Halbmeſſer zu berückſichtigen, wenn die geforderte Vermehrung der Kraft oder der

Digitized by Google

Geschwindigkeit gegeben ist, und sie wären ganz willkürlich, wenn eine verticale Bewegung in eine horizontale oder umgekehrt durch Verbindung eines Sternrads mit einem Kronrade oder zweier konischer Räder erreicht werden soll, indem gerade die letztern hierzu vorzüglich geeignet und daher neuerdings so sehr in Aufnahme gekommen sind. Allein es ist bereits erwähnt worden, daſs die Zähne sowohl als auch die Triebstöcke eine gewisse Stärke haben müssen, um dem zu überwindenden Widerstande zu widerstehn, und die Construction der Räderwerke geht daher zuweilen von diesen aus. Kommt diese letztere Rücksicht nicht in Betrachtung, wie z. B. bei den feinen metallnen Räderwerken, so richtet der Künstler das Rad und Getriebe so her, daſs letzteres wenigstens 6 Triebstöcke erhalten kann; hiernach also, wenn sein Halbmesser $= \frac{1}{n}$ ist, der des Rads $= 1$ wird. Die Peripherieen werden dann von selbst $= \frac{2\pi}{n}$ und $= 2\pi$, sie werden für m Triebstöcke in 2m und 2nm gleiche Theile vermittelst des Cirkels oder der Theilmaschine getheilt, wovon m und mn Theile ausgeschnitten werden und eben so viele als Zähne stehn bleiben. Der umgekehrte Fall findet statt, wenn die Dicke der Triebstöcke, Kammen oder Zähne zuvor durch das Erforderniſs ihrer Stärke bestimmt werden muſs. Ist diese Dicke $= b$, so wird mit Beibehaltung der obigen Werthe 2mb die Peripherie des Getriebes und 2nmb die des Rads, mithin der Halbmesser von jenem $= \frac{mb}{\pi}$, von diesem $= \frac{nmb}{\pi}$; zur Bestimmung der Werthe von b findet man aber die nöthigen Thatsachen aus den Untersuchungen über die relative Festigkeit der Körper[1].

Aus dem Gesagten geht hervor, daſs $\frac{R}{r} = n$ und n eine ganze Zahl seyn muſs. Hiernach müssen aber die nämlichen Zähne mit den nämlichen Triebstöcken bei jeder wiederbeginnenden Umdrehung des Rads wieder zusammenfallen, woraus jedoch folgt, daſs wenn ein Zahn oder Triebstock zu sehr angreifend auf einander wirken, diese sich zuerst oder zu bald

1 S. *Cohaesion*. Bd. II. S. 148 ff.

abnutzen. Man wollte dieses vermeiden, und schlug daher vor, dem Rade einen Zahn mehr zu geben, also $mn + 1$, wonach also die nämlichen Zähne und Triebstöcke erst nach $mn + 1$ Umläufen mit einander wieder zur Berührung kommen. Diesen überschüssigen Zahn nennen die Engländer bei den Mühlenwerken *hunting cog*. Man hat hiergegen eingewandt, daſs es nicht wohl ausführbar sey, solche geeignete Primzahlen unter sich zu finden, allein da es in den meisten Fällen nicht nothwendig ist, das Verhältniſs der Halbmesser bis auf eine solche Kleinigkeit mit absoluter Schärfe zu bestimmen, so darf man nur auf die einfachste Weise einen Zahn mehr nehmen und hierfür den Halbmesser um $\frac{1}{nm}$ vergröſsern. Wären also z. B. ein Rad mit 60 Zähnen und ein Getriebe mit 6 Triebstöcken gefordert und der Halbmesser des Rads = 2 Zoll, so müſste er für 61 Zähne = 2 Z. $\frac{2}{5}$ Lin. werden. Ist das Verhältniſs der Kräfte und Lasten gegeben, so kann der hieraus erwachsende Unterschied vernachlässigt werden, soll aber das Räderwerk zur genauen Messung, z. B. der Zeit bei den Uhren, der Wegeslängen bei den Hodometern, der Vibrationsmengen bei den Sirenen dienen, so treten bedeutende Hindernisse in den Weg; denn wollte man auch statt einer fortlaufenden Reihenfolge von 60 zuerst 61 und dann 59 und so fort abwechselnd wählen, so bliebe dennoch stets ein Unterschied, da die Halbmesser sich wie die Anzahl der Zähne verhalten und die fortlaufenden Potenzen von 60 folgende sind: 3600, 216000, 12960000 ....., die Producte der wechselnden Zahlen 61 und 59 aber 3599, 219539, 12952801 u. s. w. Inzwischen ist die Besorgniſs für eine solche ungleiche Abnutzung bei feinern und gut gearbeiteten Räderwerken unbegründet, das vorgeschlagene Mittel zur Vermeidung derselben kann also da unberücksichtigt bleiben, wo es auf genaue Messungen ankommt, jedoch kann man dasselbe immerhin bei gröbern Maschinen, als Mühlen u. s. w. in Anwendung bringen.

Uebrigens wird eine der genannten Vorrichtung ähnliche sehr zweckmäſsig zur Vervielfältigung des Zählens benutzt, indem man zwei Räder, bei denen die Anzahl der Zähne um einen einzigen verschieden ist, in ein gemeinschaftliches Getriebe eingreifen läſst. Daſs dieses ohne Schwierigkeit ge-

schehn könne, geht aus der obigen Angabe hervor, jedoch dürfen die Räder nicht zu klein und insbesondere nicht mit zu wenigen Zähnen versehn seyn. Hätte also ein Rad bei 2 Zoll Halbmesser 60 Zähne von 1 Lin. Länge, und würde es mit einem andern von 61 Zähnen an der nämlichen Welle vereint, so betrüge des letztern Halbmesser $\frac{2}{5}$ Linien mehr, und wenn seine Zähne also mit ihrer ganzen Länge in das Getriebe eingriffen, so würden die des erstern nur mit $\frac{3}{5}$ Linie Länge eingreifen, also immerhin genügend, um durch dasselbe umgetrieben zu werden. Bei jedem Umlaufe beider oder vielmehr bei 10 Umläufen des Getriebes bleibt aber das letztere um einen Zahn zurück und beide kommen erst nach 61 Umläufen wieder zu ihrer anfänglichen Lage über einander. Soll also diese Vorrichtung zum Zählen benutzt werden, so legt man das Rad mit n Zähnen unten, läſst die Spindel desselben durch das zweite und eine feste Scheibe gehn, und versieht sie mit einem Zeiger, welcher auf der Scheibe die Theile des Umlaufs anzeigt. Das darüber befindliche Rad von n + 1 Zähnen wird mit einer Röhre zum Durchlassen der genannten Spindel versehn, auf diese Röhre wird ein Zeiger gesteckt, welcher entweder über der erwähnten Scheibe oder unter derselben, im letztern Falle hervorragend, über einem getheilten Ringe bei jedem Umlaufe auf einen der n + 1 Theile zeigt und hierdurch die Zahl der gemeinschaftlichen Umläufe angiebt. Am leichtesten ist es, der nämlichen Scheibe, durch deren Centrum die genannte Röhre und Spindel hervorragen, eine äuſsere Eintheilung zu geben, auf welcher der auf der Spindel befindliche Zeiger willkürliche, aus dem Zwecke der Maschine zu bestimmende Theile der Umdrehung des kleinern Rads angiebt und zugleich eine innere, n + 1 Theile enthaltende und nach der entgegengesetzten Seite fortlaufende, auf welche der auf der Röhre steckende Zeiger hinweist. Solche Räder nennen die Engländer *Hunting wheels*.

Dem angenommenen Principe nach sollen Rad und Getriebe in steter Berührung gleichmäſsig nach entgegengesetzten Seiten um ihre Axen umlaufen, als ob die vorgestellten Cylinder mit ihren Oberflächen über einander sich hinwälzten. Soll dieses wirklich geschehn, so müssen die Zähne mit den Triebstecken in steter Berührung bleiben, weil sonst bei einem entstehenden Zwischenraume der Zahn diesen übersprin-

Digitized by Google

gen und mit hörbarem Geräusche an den nächsten Triebstock anschlagen würde. Letzteres geschieht wirklich bei allen schlechtern Räderwerken und erzeugt das sogenannte *Schlottern,* welches bei den am besten gearbeiteten gar nicht oder mindestens sehr schwach gehört wird, bei zunehmend minder vollendeter Arbeit aber zuletzt bis zum unangenehmsten Geräusche wächst.

Sind die Räder und Getriebe auf die oben angegebene Weise verfertigt, so würden die Zähne genau in die Zwischenräume passen, ohne im mindesten zu wanken, allein dann müſsten die erstern bei anfangender Drehung zerbrechen. Denken wir uns nämlich einen Zahn in einer solchen Lage, daſs die durch die Mittelpuncte beider Räder gehende Linie ihn genau halbirt, so sind die beiden nächsten nur etwa zur Hälfte in die ihnen zugehörigen Vertiefungen eingedrungen, und der eine tritt auf gleiche Weise aus derselben heraus, als der andere tiefer eindringt, wobei die Oberflächen aller drei Zähne auf denen der Getriebe sich fortwälzen müssen, wenn das Schlottern nebst der nachtheiligen Reibung ihrer Oberflächen auf einander vermieden und ein gleichzeitiger Angriff aller drei Zähne erzeugt werden soll. Es ist sonach eine wichtige Aufgabe der Mechanik, diejenige Form der Zähne aufzufinden und in der Praxis wirklich herzustellen, welche diesen Bedingungen genügt.

Theoretische Untersuchungen hierüber sind schon seit langer Zeit angestellt worden. Nach Leibnitz[1] war Olaus Römer der erste, welcher auffand, daſs hiernach die Gestalt der Zähne eine epicykloidische seyn müsse; genauere Untersuchungen haben nachher de la Hire[2], noch gründlichere L. Euler[3], Camus[4], Kaestner[5], insbesondere Eytelwein[6] und andere[7] angestellt. Am ausführlichsten ist diese Aufgabe des Ein-

1 Miscell. Berolin. T. I. p. 315.

2 Traité de Mécanique. Par. 1665. Mém. de l'Acad. depuis 1666. jusqu' à 1699. T. IX. Mém. de Math. et Phys. Par. 1694. 4.

3 Nov. Comm. Pet. T. V. p. 299. T. XI. p. 207.

4 Mém. de l'Acad. 1733. p. 117. Hist. p. 81.

5 Comm. Soc. reg. Gott. 1781 u. 1782. T. IV. u. V.

6 Handbuch der Statik u. s. w. Bd. I. S. 311.

7 Encyclop. Brit. Suppl. Art. Machinery, Rees Cyclopaedia Art. Wheelwork. Airy in Trans. of the Cambr. Phil. Soc. T. II. p. 277.

Digitized by Google

greifens der Zähne in die Getriebe (*Engrenage*) mit Rücksicht auf die verschiedene Gröſse und Gestalt der Räder und der Trillinge behandelt durch Hachette [1]. Da es hier nicht der Ort ist, die Resultate dieser Bemühungen mitzutheilen, so bemerke ich bloſs, daſs einige die zur Cykloide gehörigen Curven, andere die Kreisevoluten, noch andere sonstige krumme Linien als die geeignetsten für die Gestalt der Zähne aufgefunden haben. In der praktischen Anwendung ist es nur selten und zwar bloſs bei groſsen Rädern und dicken Zähnen möglich, ihre Gestalt genau aufzuzeichnen und nach solchen Vorzeichnungen auszuarbeiten, wie unter andern Leupold [2] und Beyer [3] lehren; ein verwerflicher Grundsatz ist es aber, die Herstellung der geeigneten Gestalt vom eignen allmäligen Abnutzen zu erwarten, vielmehr müssen die Zähne gleich anfangs so gemacht seyn, daſs die geringste Abreibung derselben statt findet, wodurch sich eben die Geschicklichkeit des Künstlers erprobt. Für die feineren Räderwerke, namentlich der Uhren, gebraucht man solche stählerne Getriebe (*Triebstähle*), in denen 5, 6 oder mehr Furchen bereits hergestellt sind, indem man ein Stück von erforderlicher Länge abschneidet, den übrigen Theil zur Spindel von gehöriger Dicke ab rundet und den zum Getriebe bestimmten Theil stehn läſst. Wenn man diese nicht anwenden kann, namentlich bei allen konischen Rädern, so werden die Zähne und Getriebe auf die angezeigte Weise ausgeschnitten oder ausgesägt und erhalten hierdurch ebene Flächen. Alsdann werden sie zur gehörigen Form abgerundet (ausgewälzt), wozu man sich zuweilen, am häufigsten bei den Uhren, eigener Maschinen bedient [4], in

---

Eine noch nicht vollendete ausführliche Abhandlung über dieses Problem von A. Müller findet man in G. LXXXIX. 1 ff.

1 Traité élém. des Machines. Par. 1828. 4. p. 375 bis 394.

2 Theatrum mach. generale. §. 85.

3 Mühlenschauplatz Cap. VII. §. 15. Am vollständigsten findet man die durch hinlänglich groſse Zeichnungen erläuterten Regeln in Hachette's genanntem Werke; eine sehr kurze Anweisung von Poncelet in Crelle's Zeitschrift für Math. Bd. V. S. 416.

4 Solche Maschinen zum Einschneiden und Auswälzen der Zähne für Uhrräder werden hauptsächlich in Genf angewandt und verfertigt; eine Beschreibung der von ihm selbst erfundenen oder verbesserten giebt Peter Lecount in Edinb. Journ. of Science Nr. VI. p. 340.

den meisten Fällen ist es jedoch eine Forderung an die Geschicklichkeit des Künstlers, durch seine Arbeit aus freier Hand die geeignetste Form zu erzeugen. Bei den aus parallelen Scheiben mit Triebstöcken versehnen Getrieben (*Lanternes*) sind die Stäbe meistens kreisförmig rund, doch giebt man ihnen auch andere Gestalten, und macht sie möglichst kurz, um ihre Biegungen zu verhindern [1]. Wegen der zunehmenden Vervollkommnung der Eisenfabrication werden die meisten groſsen Räder gegenwärtig aus Eisen verfertigt, und es laufen dann zwei Räder von ungleichen Durchmessern mit ihren Zähnen in einander greifend um, wonach also die Zähne beider eine gleiche Gestalt haben müssen.

Räder und Getriebe kommen beim praktischen Maschinenwesen so häufig vor, daſs es zweckwidrig seyn würde, selbst bloſs den geringsten Theil derselben mit ihren Eigenthümlichkeiten hier umständlich zu beschreiben, vielmehr scheint es mir genügend, nur einige der allgemeinsten Anwendungen namhaft zu machen, da man ohnehin von diesen leicht auf andere schlieſsen kann, deren man für specielle Mechanismen bedarf.

Nach dem allgemeinen Principe vom Räderwerke sind die Oberflächen der Zähne und Getriebe mit einander in genauer Berührung, und eine am einen Ende erzeugte Bewegung müſste daher sogleich bis zum andern fortgepflanzt auch hier statt finden, kann aber so langsam werden, daſs ihre Wahrnehmung erst nach Verlauf einer beträchtlichen Zeit und Zurücklegung eines bedeutenden Raums des ersten bewegten Maschinentheils in die Augen fällt, wogegen man aber, die Hindernisse der Bewegung nicht berücksichtigt, mit der geringsten Kraft die gröſste Last am andern Ende zu bewegen vermögen würde. Diesen Satz drückte bereits Archimedes in einem Beispiele aus, denn Athenaeus [2] erzählt, er habe eine Maschine

---

1 Specielle Untersuchungen hierüber findet man in Langsdorf Erläuterung höchst wichtiger Lehren der Technologie. Heidelberg 1807. 8.

2 Deipnosophisticorum L. V. Diese als die vierzigste mechanische Erfindung des Archimedes benannte Aufgabe wird auch von Hero und Pappus erwähnt, jedoch giebt ersterer das Verhältniſs der Last und Kraft zu 1000 und 5 Talenten, letzterer zu 160 und 4 Talenten an, und die Maschine soll auch eine Schraube ohne Ende enthalten.

Digitized by Google

erfunden, vermittelst deren der König Hiero mit einer Hand ein ganzes Schiff hob. Als der König sich hierüber wunderte, sagte er sein bekanntes: *δός μοι που στῶ*, gieb mir einen festen Standpunct (auſserhalb der Erde), so will ich die ganze Erde in die Höhe heben. Man hat diese sogenannte Maschine des Archimedes oft zur Erläuterung der Theorie des Räderwerks hergestellt, bestehend aus zwei Stirnrädern, einem Trilling und einer Kurbel, vermittelst deren mit 1 ℔ Kraft 100 ℔ Gewicht im Gleichgewichte erhalten werden; es könnten aber 25 Räder mit 25 ℔ Gewicht hinreichen, um die ganze Erde von ein Trillion ℔ im Gleichgewichte zu erhalten, zur wirklichen Hebung würde aber ein Mensch unausgesetzt arbeitend 300000 Jahre bedürfen, um nur die Höhe von $\frac{1}{60000}$ Zoll, also eine mit unbewaffnetem Auge unsichtbare Gröſse zu erhalten. Hiernach gäbe es also eine Bewegung, zwar nicht unendlich klein, aber kleiner als daſs sie wahrnehmbar wäre. Es war wohl ohne Nutzen, wie Sturm[1] gethan hat, zu zeigen, daſs die wirkliche Ausführung dieses Problems wegen der Hindernisse der Bewegung unmöglich sey[2].

Nimmt man die Maschinen, bei denen Rad und Getriebe mehr oder minder einfach in Anwendung kommen, im weitesten Umfange, so machen die Räder mit geraden, zuweilen auch gekrümmten, zackenartigen Spitzen oder Zähnen, die in
Fig. 202. die Glieder einer Kette, unter andern namentlich der von Vaucanson erfundenen, in der Zeichnung dargestellten eingreifen, den Uebergang vom Rade an der Welle zum Rade mit Getriebe, indem selbst auch kleinere oder gröſsere Räder durch andere vermittelst eines umgeschlungenen Riemens, seltener eines Seils oder einer Darmsaite, umgetrieben werden, eine in sehr vielen Fällen geringerer Kraftäuſserung vorzüglich zu empfehlende Vorrichtung. Dahin gehören ferner die Daumen der Wellen zum Heben der Hammerschwänze bei Ham-

1 Dissert. Terra machinis immota. Altorf 1691. 4.

2 Vergl. P. Bossut Geschichte d. Math. übers. von Reimer. Hamb. 1804. 2 T. 3. T. I. p. 154. V. Gerstner Handbuch d. Mech. Th. I. S. 77. hat die Berechnung für einen bloſsen Hebel angestellt, findet aber das Gewicht der Erde über zwei und achtzig Tausend Trillionen Ctn. und die Länge des langen Hebelarms fast zweimalhunderttausend Billionen Meilen für 150 ℔ Kraft und 1 Zoll Länge des kürzern Arms.

Digitized by Google

merwerken oder der Stampfer bei den verschiedenen Stampf-
werken der Oelmühlen, Papiermühlen, Pulvermühlen u. s. w.
In der Regel geschieht die Hebung nur durch einen einzigen
Daumen, deren aber zuweilen bei langsamerer Umdrehung
zwei oder mehrere in der nämlichen verticalen Ebene auf dem
Umfange der Welle befindlich sind, so daſs bei einem Um-
laufe der letztern die nämlichen Hämmer oder Stampfer zwei-
oder mehrmals gehoben werden. Sind mehrere neben einan-
der stehende Hämmer oder Stampfer durch die nämliche Welle
zu heben, so vertheilt man die Daumen gleichmäſsig auf eine
um die Welle gezogene Schraubenlinie, damit jederzeit der
nämliche Kraftaufwand erfordert werde. Hierhin gehören fer-
ner die gezahnten Stangen, die durch ein Rad oder ein Ge- Fig. 203.
triebe mit Zähnen gehoben werden, indem letzteres nur zum
Theil oder ganz oder mehrmals umgedreht wird, um die Stan-
ge bis zur erforderlichen Höhe zu heben, worauf es dann
aber rückwärts bewegt werden muſs, wenn die Stange wie-
der zu ihrer vorigen Lage herabgehn soll. Für solche Me-
chanismen genügen zuweilen einzelne, in gröſsern Zwischen-
räumen auf der Stange aufsitzende konische Zähne, die in Fig. 204.
ähnliche in der Peripherie des Rads befindliche Vertiefungen
eingreifen. Ein solcher Mechanismus ist leicht und mit ge-
ringen Kosten darstellbar, im Ganzen aber nicht vorzüglich.
Soll eine Stange gehoben werden und während der fort-
dauernden Bewegung des Rads oder des Getriebes durch ihr
eigenes Gewicht wieder herabfallen, so darf man nur die Zähne Fig. 205.
von einem gewissen Theile des Umfangs wegnehmen. Bei
einer abwechselnd vor- und rückwärts gehenden Bewegung be-
darf es oft keines ganzen gezahnten Rads, sondern ein an-
gemessener Bogentheil desselben reicht dazu hin und die Zeich-
nung genügt vollständig, um diese Arten von Mechanismen Fig. 206.
zu erläutern. Eine reciprocirende Bewegung kann auch durch
ein stets nach derselben Seite umlaufendes gezahntes Rad er-
zeugt werden, wenn man es zwischen zwei verbundenen par-
allelen, inwendig gezahnten Stangen anbringt, die durch ei-
nen erforderlichen Mechanismus zum Eingriffe in die Rad-
zähne gebracht werden, wie die Figur eine allgemeine Con- Fig. 207.
struction solcher Vorrichtungen angiebt. Endlich würde es
überflüssig seyn, eine Beschreibung der vielfachen *Roſsmüh-
len* mitzutheilen, bei denen im Allgemeinen eine verticale

Digitized by Google

Welle mit einem Getriebe, das in ein horizontales Rad eingreift, oder mit einem horizontalen Rade, dessen Zähne ein Getriebe mit horizontaler oder verticaler Welle in Bewegung setzen, durch die Kraft angespannter Pferde umgedreht wird.

Zum Beschluſs wird es erlaubt seyn, nur noch zwei Arten von Maschinen etwas ausführlicher zu beschreiben, bei denen das Rad und Getriebe hauptsächlich in Anwendung kommt und wovon ein sehr häufiger Gebrauch gemacht wird, nämlich zuerst die *Wagenwinde* und dann die Uhren. Unter den Winden gehört hierher bloſs die deutsche oeer gemeine Winde, welche am einfachsten ohne Vorgelege, meistens aber, der stärkern Kraft wegen, mit Vorgelege gemacht wird[1]. Die
Fig. 208. Winde mit Vorgelege, aus welcher die Construction der einfachen leicht zu entnehmen ist, besteht aus einem massiven hölzernen, durch eiserne Bänder hinlänglich verstärkten, Parallelepipedon mit zwei oder meistens vier starken eisernen Zacken im Boden zur Verhütung des Gleitens. Am obern Theile derselben auf der breitern Seite befindet sich eine Kurbel mit Handgriff, welche durch die Hand des Arbeiters umgedreht wird, wodurch gleichzeitig die Umdrehung des kleinen, auf der eisernen Axe der gleichfalls aus Eisen verfertigten Kurbel eingeschnittenen Getriebes D erfolgt. Die Zähne desselben greifen in die des Rads (*Vorgeleges*) C, welches gleichfalls mit dem Getriebe B aus einem einzigen Stücke Eisen gemacht ist, letzteres greift in die gezahnte Stange A und hebt diese zusammt der auf der obern gezackten Gabel oder auf einem am untern Ende dieser Stange befindlichen, aus der Winde hervorstehenden Arme ruhenden Last in die Höhe. Betragen die Halbmesser der Kurbel 8 Zoll, des Rads 3 Zoll, der beiden Getriebe 1 Zoll, so ist die Kraftvermehrung $= 3 \times 8$, und es hebt also ein Mann mit einer für so kurze Dauer leicht anwendbaren Kraft von 50 ℔ nicht weniger als 1200 ℔, wenn die Reibung nicht berücksichtigt wird. V. Gerstner[2] nimmt diese $= \frac{1}{14}$ der Last, und wenn wir sie bis $\frac{1}{12}$ vermehren, so gestattet doch eine solche Winde das Heben einer Last von 11 Ctn. durch einen einzigen Menschen.

1 Die französische und englische Winde beruht auf der Schraube. Vergl. Art. *Schraube*.

2 Mechanik Th. I. S. 524.

Uhren sind im Allgemeinen Maschinen, bestimmt vermittelst eines Räderwerks die Zeit zu messen. Genauer genommen beruhn (mit Ausnahme der Sonnenuhren) gegenwärtig alle auf den stets gleichförmigen Schwingungen eines Pendels, welches so lange, als es selbst unverändert bleibt, in Folge der stets unveränderlichen Schwere an einem und demselben Orte seine Schwingungen unausgesetzt in gleicher Zeit vollendet[1]. Ist also diese Zeit der Oscillationen bekannt, so bedarf es nur eines Mechanismus, um die Schwingungen des Pendels zu zählen und die unterdeſs verflossene Zeit anzugeben. Als Normalpendel kann hierbei das Secundenpendel angesehn werden, indem die andern dann für halbe oder sonst aliquote Theile der Secunde eingerichtet sind. Weil aber das Pendel bald zu schwingen aufhören würde, so enthält das Räderwerk zugleich einen Mechanismus, um durch einen geringen Impuls gegen das Pendel bei jeder Schwingung den durch die Hindernisse der Bewegung entstandenen Verlust zu ersetzen, und eine Uhr ist also dann am vollendetsten, wenn sie bei unveränderlichem Pendel eine so genaue und durchaus gleichmäſsige Construction hat, daſs alle dem Pendel ertheilte Impulse einander stets gleich sind. Jenachdem die Zeit ist, welche die Uhren anzeigen, heiſsen sie *astronomische* für Sternenzeit, oder schlechtweg *Uhren für mittlere Zeit*, oder solche für *wahre Sonnenzeit*, welche jedoch selten sind, und, wenn sie die beiden letztern Zeiten zugleich angeben, *Aequationsuhren* (von *aequare*, ausgleichen). Die sonstigen vielerlei Arten von Uhren sind durch ihren bloſsen Namen kenntlich und ihre nähere Beschreibung würde hier zu weit führen. Der eigentlichen *Zeit-Uhren* giebt es hauptsächlich drei Arten: *Thurmuhren*, *Pendeluhren*, die entweder *Stand-* oder *Wand-Uhren* heiſsen, weil erstere auf einem Schranke, einer Console oder sonst hingestellt, letztere an der Wand befestigt zu werden pflegen, und *Taschen-Uhren*, entweder gewöhnliche oder *Chronometer*. Die bewegenden Mittel sind bei den ersten beiden Arten meistens Gewichte, bei der letztern allezeit Federn.

Die Erfindung der jetzt gebräuchlichen Uhren gehört unter die wichtigsten, da die früher angewandten verschiedenen

1 Vergl. *Pendel*.

Digitized by Google

Mittel der Zeitmessung nicht genügten; man hat aber erst allmälig durch zahlreiche Verbesserungen sie zu ihrer jetzigen Vollkommenheit gebracht[1]. Am wichtigsten war die durch Huyghens gemachte Erfindung, das Pendel zur Regulirung der Zeitmessung zu benutzen, die er zuerst 1658 kurz bekannt machte[2], als sie aber dem Galilaei vindicirt wurde[3], ausführlich beschrieb[4]. Die Erfindung der Taschenuhren, die Peter Hell in Nürnberg schon im J. 1500 gemacht haben soll, beginnt erst mit dem Gebrauche der Unruhe und Spiralfeder und ist zwischen Huyghens und Rob. Hooke streitig[5], als gewiſs aber darf angenommen werden, daſs der erstere sie nicht vor 1673 gekannt hat, dagegen findet sich auf einer dem Könige Carl II. von England überreichten solchen Uhr die Inschrift: Rob. Hooke *invenit* 1658 T. Tompion *fecit* 1675. Auch die pariser Uhrmacher bestritten die Priorität der Erfindung durch Huyghens, der ein Patent darüber haben wollte, aber nicht erhielt, weil der Abt Hautefeuille sich die Erfindung anmaſste, auch einen Proceſs deswegen mit jenem anfing, ihn aber verlor[6]. Nach Leibnitz[7] ist indeſs Huyghens der Erfinder und hat diesen Mechanismus 1674 durch den Uhrmacher Turet in Paris anfertigen lassen.

Unter den verschiedenen Constructionen der Uhren wähle ich zur nähern Beschreibung die Taschenuhren, weil ihr Mechanismus am künstlichsten und der eigenen Ansicht weniger zugänglich ist, als bei Pendeluhren. Das Werk in den Taschenuhren liegt meistens zwischen zwei, durch mehrere Säulen festgehaltnen messingnen Scheiben, und hat als Haupttheil die in der messingnen Trommel a eingeschlossene Feder, welche durch das vermittelst des Stifts s geschehende Auf- Fig. 209.

1 Das Geschichtliche der Erfindung und allmäligen Verbesserung erzählt Marpurger in Horologiographia oder Beschreibung der Eintheilung und Abmessung der Zeit. Dresd. 1723, auch la Hire in Mém. de l'Acad. 1817. p. 78.

2 Ch. Hugenii Horologium. Hagae 1658.

3 Tentam. Ac. del Cimento. I. p. 20.

4 Chr. Hugenii Horologium oscillatorium. Par. 1673. fol.

5 Hutton Dict. T. II. p. 585.

6 Juvenel de Carlencas Geschichte der schön. Wissensch. und freien Künste. Ueb. von Kappe 1752. Th. II. S. 435.

7 Régle artificielle du tems par H. S. (Henri Sully). Wien 1714. a. E.

Digitized by Google

ziehn gespannt wird, indem man die um die Trommel geschlungene feine Kette um die konische Schnecke b wickelt. Letztere ist auf der Spindel s befestigt und durch einen Sperrhaken auf der Scheibe des unter ihr befindlichen Rads so gesperrt, daſs sie sich beim Aufziehn frei um ihre Axe drehn läſst, wenn aber die gespannte Feder sich wieder zurückzieht, durch die Sperrung eben dieses untere Rad ergreift und mit sich umdreht. Die konische Gestalt hat sie deswegen, damit die zunehmend stärker gespannte Feder auf einen im gleichen Verhältnisse abnehmenden Hebelarm wirkt und vermöge dieser Ausgleichung auf das Uhrwerk eine stets gleichbleibende bewegende Kraft ausübt. Gute Uhren dürfen daher beim Aufziehn keinen ungleichen Widerstand bemerken lassen. Wird also das Schneckenrad durch die gespannte Feder vermittelst der Schnecke umgedreht, so greifen seine Zähne in die Welle des Minutenrads c, dessen Spindel durch das Zifferblatt herausragt und den Minutenzeiger trägt. Es ist nämlich auf dieses verlängerte Spindelende das Zeigerwerk so aufgesteckt, das es sich zwar umdrehn und die Uhr somit stellen läſst, doch aber hinlängliche Reibung hat, um die Zeiger gehörig zu bewegen. Die zum Minutenzeiger gehörige Welle r greift dann in die Zähne des Wechselrads p und dessen Welle k in die des Stundenrads q, welches beweglich über die Hülse des Minutenzeigers nur geschoben ist, diese Räder und ihre Getriebe haben jedoch ein solches Verhältniſs, daſs der Stundenzeiger 12mal langsamer als der Minutenzeiger umläuft, weil die Getriebe mit ihrer geringern Menge von Zähnen die Räder in Bewegung setzen.

Bestände das Uhrwerk aus keinen sonstigen Theilen, als den eben genannten, so würde die zurückziehende Feder diese mit beschleunigter Geschwindigkeit umtreiben, wie zuweilen bei eingetretenen Beschädigungen beobachtet wird, und eine regelmäſsig die Zeit abtheilende Bewegung wäre unmöglich, allein die Zähne des groſsen Bodenrads oder Minutenrads c greifen zugleich in die Welle des Mittelrads oder kleinen Bodenrads d, die Zähne des letztern in die Welle des Kronrads e, und die Zähne von diesem in die horizontale Welle des Steigrads f, welches in Gemäſsheit der beschriebenen Einrichtung eine auſserordentliche Geschwindigkeit erhalten müſste, zugleich aber nur eine dieser umgekehrt

proportionale Kraft auszuüben vermag. Die Hauptsache beruht also darauf, diesem Rade eine stets regelmäſsige und gleichbleibende Bewegung mitzutheilen, welches durch die Unruhe g und die feine Spiralfeder i bewirkt wird. Die erstere besteht aus einem vermittelst einiger Speichen auf einer Spindel befestigten Ringe, welcher für das Fortrücken eines jeden Zahns des Steigrads eine mehr oder weniger Grade des Kreises betragende vorwärts und wieder rückwärts gehende Schwingung beendigen muſs. Dieses wird durch die sogenannte *Hemmung* (Échappement; *Escapement, 'scapement*) bewirkt, deren es drei Arten giebt, die zurückfallende, die ruhende und die freie. Bei allen dreien ist die horizontale
Fig. 210. Unruhe auf einer Spindel ab befestigt, welche zwei ungefähr in einem rechten Winkel von einander abstehende Lappen hat, deren einer die obern, der andere die untern Zähne des Steigrads hemmt. Indem dann der eine Lappen durch den Zahn zur Seite geschoben wird, schwingt die Unruhe durch den zugehörigen Bogentheil um, der Zahn gleitet über den Lappen hin, gleichzeitig aber ergreift der diametral auf der Peripherie des Steigrads gegenüberstehende Zahn den andern Lappen und dreht ihn nach der entgegengesetzten Seite, während die Unruhe ohnehin durch die Spiralfeder rückwärts gezogen wird, um nicht vermöge der Trägheit ihren Umschwung weiter fortzusetzen, wobei es auſserdem gestattet ist, den Gang der Uhr dadurch zu reguliren, daſs man die Spiralfeder, da wo ihr anderes Ende feststeckt, stärker oder weniger spannt, je nachdem der Gang der Uhr beschleunigt oder zurückgehalten werden soll. Bei den Pendeluhren
Fig. 211. ist das Steigrad ein Sternrad mit schräg eingeschnittenen Zähnen, in welche der an einer horizontalen Spindel festsitzende Graham'sche Haken f abwechselnd eingreift, wodurch dann die von der genannten Spindel herabgehende feine, mit einer horizontal umgebogenen Gabel versehene Stange fd dem Pendel den erforderlichen Impuls mittheilt, der dessen Schwingungen stets gleichmäſsig erhält. Wenn der einfallende Lappen das Steigrad und damit das ganze Räderwerk wieder etwas zurückdrückt, so heiſst dieses die *zurückfallende* Hemmung. Um die hierdurch entstehende gröſsere Reibung aufzuheben, erfand Graham die *ruhende* Hemmung, bei welcher der Zahn während der Auslösung des Lappens unverrückt stehn bleibt,

Digitized by Google

noch besser aber ist die durch Mudge erfundene *freie* Hemmung, bei welcher nicht der Regulator selbst den Zahn aufhält, sondern ein besonderer Ausfall, während die Unruhe frei ihre Schwingung vollendet. Eine eigenthümliche, durch Tompion erfundene, nachher durch Graham und die spätern geschickten Uhrmacher wesentlich verbesserte, neuerdings sehr wieder in Aufnahme gekommene Hemmung geschieht vermittelst eines Cylinders, und heiſst hiernach die *Cylinderhemmung*, so wie diejenigen Uhren, die diese Hemmung haben, *Cylinderuhren* genannt werden. Hiernach wird das Steigrad durch ein horizontales Rad mit aufrecht (nach Art der Zähne bei Kronrädern) stehenden kleinen Häkchen ersetzt, die in den Einschnitt eines Cylinders eingreifen, auf dessen Axe die Unruhe befestigt ist. Die Cylinder werden neuerdings mit bedeutendem Gewinne für die Dauerhaftigkeit aus Quarz oder Achat verfertigt[1].

D. Mühlräder.

Räder mit Getrieben kommen nur dann in Anwendung, wenn die Welle des ersten oder Hauptgetriebes durch irgend eine gegebene Kraft umgedreht und also Bewegung durch eine bewegende Ursache erzeugt wird. Unter der Menge solcher bewegenden Mittel, deren einige in diesem Artikel bereits vorgekommen sind, nehmen der Wasserdampf und das flieſsende Wasser den ersten Rang ein und kommen unter allen am häufigsten in den Dampfmaschinen und den Wassermühlen in Anwendung, wovon erstere zwar den Vorzug haben, daſs sie sich überall darstellen lassen, letztere aber den weit gröſsern, daſs das bewegende Mittel durch die Natur unmittelbar gegeben ist und also nichts kostet, wobei jedoch zu berücksichtigen, daſs die Hinführung des Wassers zu den Maschinen und die Sicherung der hierzu erforderlichen Bau-

---

1 Die Literatur über die Uhren ist im höchsten Grade weitläufig, und ich begnüge mich daher damit, nur folgende Werke anzugeben. Traité de l'horlogerie par M. Le Paute. Par. 1755. Essay sur l'horlogerie par M. Ferd. Berthoud. Par. 1763. Sehr ausführlich, auch namentlich in Beziehung auf die reichhaltige Literatur, ist Rees Cyclopaedia. T. VIII. Vergl. J. H. M. Poppe Wörterbuch der Uhrmacherkunst. Leipz. 1799. 2 T. 8.

Digitized by Google

ten gegen die Wasserschwellen häufig mit bedeutenden Kosten verbunden zu seyn pflegt. Von den Dampfmaschinen ist bereits ausführlich gehandelt worden, und wenn es gleich zu weit führen würde, die Construction der verschiedenen Mühlen hier vollständig zu untersuchen, so dürfen doch die Angaben über die Beschaffenheit der Mühlräder und eine kurze Anzeige der wichtigsten Schriften, welche nähere Auskunft über diesen Gegenstand geben, nach dem Plane dieses Werks hier nicht fehlen.

1. Das mechanische Moment des Wassers ist eine Function der Masse desselben, welche entweder durch ihren Stoſs bei gegebener Geschwindigkeit oder durch ihr Gewicht beim Herabfallen die Mühlräder umtreibt. Die Masse desselben wird erhalten, wenn man den Quadratinhalt der Ausfluſsöffnung und den in der Zeiteinheit einer Secunde durchlaufenen Raum kennt, woraus die Geschwindigkeit folgt. Heiſst also die Wassermasse in irgend einem Maſse ausgedrückt M, die Geschwindigkeit v und der Quadratflächeninhalt der Ausfluſsöffnung f^2, so ist allgemein

$$M = f^2 v.$$

Die Erfahrung hat jedoch ergeben, daſs der Querschnitt des aus einer gegebenen Oeffnung abflieſsenden Wassers kleiner ist, als der Querschnitt der Oeffnung, was man die Zusammenziehung der Wasserader (*contractio venae;* Contraction de la veine; *Contraction of the vein*) nennt. Dieser Gegenstand ist bereits vollständig erörtert worden[1], und ich bemerke daher bloſs, daſs auſser den dort angegebenen zahlreichen Versuchen von Poleni, Newton, Dan. Bernoulli, de Borda, Bossut, Langsdorf, Vince, Michelotti, Eytelwein und Hachette noch neuerdings andere gehaltreiche von Hachette[2], Math. Young[3], Helsham und Banks[4], Brindley und Smeaton[5], insbesondere von Bidone[6], Bru-

1 S. Art. *Hydrodynamik.* Bd. V. S. 535.

2 Traité élém. des Machines. 4me ed. Par. 1828. 4. p. 84 ff.

3 Trans. of the Roy. Irish Acad. T. VII. 1800.

4 Abhandlung über Mühlenwerke von J. Banks; übers. von Zimmermann. 1800. Auch in Manchester Mém. T. V. p. 398. Nich. Journ. II. 269.

5 Banks a. a. O.

6 Mémoires de l'Académie de Turin. 1822. T. XXVII. p. 395.

Digitized by Google

NACCI[1], PONCELET und LESBROS[2] und von CHRISTIAN[3] hinzugekommen sind, die man fast vollständig in der Mechanik des letztern, in den Werken von HACHETTE, v. GERSTNER und EGEN[4] zusammengestellt findet. Letzterer entnimmt aus den gehaltreichsten Beobachtungen folgende Resultate, die man als der Wahrheit sehr nahe kommend und somit als normale betrachten kann, wonach also in die gegebene Formel noch ein Coefficient $m^{(n)}$ für die Zusammenziehung der Wasserader eingeführt werden muſs.

a. Für kleinere Oeffnungen von 0,5 Zoll Weite.

1) Wenn auf allen Seiten Zusammenziehung statt findet, $m = 0,617$
2) Wenn unten keine Zusammenziehung statt findet, $m' = 0,639$
3) Wenn auf zwei Seiten keine Zus. statt findet, $m'' = 0,662$
4) Wenn auf drei Seiten keine Zus. statt findet, $m''' = 0,694$
5) Wenn auf keiner Seite Zus. statt findet, $m^{IV} = 0,694$

b. Für Oeffnungen mehr als 1 Zoll weit.

1) Wenn auf vier Seiten Zusammenziehung statt findet, $m = 0,617$
2) Wenn auf drei Seiten Zusammenziehung statt findet, $m' = 0,642$
3) Wenn auf zwei Seiten Zusammenziehung statt findet, $m'' = 0,666$
4) Wenn auf einer Seite Zusammenziehung statt findet, $m''' = 0,716$
5) Wenn auf keiner Seite Zus. statt findet, $m^{IV} = 0,815$

Hiernach ist also in der oben mitgetheilten Formel

$$M = m^{(n)} f^2 v.$$

Soll hiernach das Kraftmoment des Wassers berechnet und mit andern verglichen werden, so läſst sich die Höhe, aus welcher dasselbe herabfällt, statt derjenigen setzen, auf welche es gehoben werden müſste, und es läſst sich also das Product aus dieser Höhe und dem Gewichte auf die Zeiteinheit einer Secunde reducirt als dieses Kraftmoment betrachten, d. h. $k = MH$, wenn M das Gewicht und H die Fallhöhe bezeichnen. Nach v. GERSTNER's[5] aus der Erfahrung entnommenen

1 Brugnatelli Giornale di Fisica. 1808. T. I. p. 385.

2 Expériences sur les lois de l'écoulement de l'eau cet. entreprises à Metz dans les années 1827, 1828 et 1829. par MM. PONCELET et LESBROS. Par. 1829.

3 Traité de Mécanique industrielle. T. I. p. 348.

4 Untersuchungen über den Effect d. Wasserwerke u. s. w. Berl. 1831. 4. S. 16.

5 Handbuch der Mechanik. Th. I. S. 33.

Digitized by Google

Beſtimmungen ist die Kraftäuſserung eines gewöhnlichen Arbeits-Pferds 100 ℔ mit 4 Fuſs oder hoch angenommen mit 4,5 F. Geschwindigkeit in einer Secunde für 8 Stunden tägliche Arbeit, eines gewöhnlichen Arbeiters aber 25 ℔ mit 2,5 oder höchstens 3 Fuſs Geschwindigkeit für eine gleich lange Zeit. Vergleichen wir diese drei mit einander, ohne vorläufig die Zeitdauer zu berücksichtigen, so wäre für ein Wasserwerk, welches bei 10 Fuſs Fallhöhe einen Kubikfuſs Wasser in 1 Secunde zu verwenden hat, $K=70\times10=700$, für ein Pferd dagegen $K=100\times4{,}5=450$ und für einen Arbeiter $K=75$, diese drei verhalten sich also wie 700:450:75 oder wie 9,34:6:1 und, wenn man die 24 stündige Arbeit des erstern in Anschlag bringt, wie 28:6:1.

2. Zur Bestimmung der Wassermenge, welche durch eine Schütze von gegebenem Flächeninhalte in einer gegebenen Zeit ausflieſst, ist erforderlich, auſser der Zusammenziehung der Wasserader hauptsächlich noch die Geschwindigkeit des Flieſsens zu kennen. Diese ist jedoch so schwer zu bestimmen, daſs die ausflieſsende Wassermenge nach Egen nur durch eigentliche Messung mit völliger Schärfe zu erhalten steht. Inzwischen wird man sich von der Wahrheit nur wenig entfernen, wenn man mit v. Gerstner[1] nach dessen durch Erfahrung geprüften theoretischen Untersuchungen annimmt, daſs in Folge der ungleichen Geschwindigkeiten der einzelnen, in einem Canale fortflieſsenden Wasserschichten diese im Ganzen als eine parabolische Fläche bildend anzusehn sind, deren Inhalt dann $\frac{2}{3}$ mal dem Producte der Abscisse in die Ordinate gleich ist. Indem aber bekanntlich die Geschwindigkeit des aus einer Oeffnung ausflieſsenden Wassers $v=2\sqrt{g\left(\frac{H+h}{2}\right)}$ ist, wenn H die Höhe bis zum untern und h bis zum obern Rande der Oeffnung, g aber den Fallraum in einer Secunde bezeichnet, so ist für den Fall, daſs das aufgestaute Wasser eine beständige Höhe seines Spiegels über der Schleuse behält,

$$M=m^{(m)}.a(H-h)2\sqrt{g\left(\frac{H+h}{2}\right)}\ldots 1)$$

1 A. a. O. Th. II. S. 152.

Digitized by Google

und wenn die Schleuse ganz aufgezogen ist, mithin h = o wird,

$$M = m^{(n)} \tfrac{2}{3} a . H 2\sqrt{gH} \ldots\ldots\ldots \text{II)}$$

worin der Werth von $m^{(n)}$ aus den unter Nr. 1. gegebenen Bestimmungen, g aber nahe genau = 15 par. Fuſs genommen werden kann und a die Breite des Gerinnes bezeichnet. Gelangt das Wasser zu den oberschlächtigen Mühlrädern durch einen Canal, so flieſst es auf der geneigten Ebene, erleidet aber dann eine Verminderung seiner Geschwindigkeit durch die Adhäsion an den Wänden. Für diesen Fall möge hier die durch v. Gerstner[1] aufgefundene Bestimmung der Geschwindigkeit v als für die Praxis vollkommen genügend angenommen werden, wonach $v = 2\sqrt{180\, g . b \frac{e}{L}}$ ist, wenn b die Tiefe des Wassers und e die Erhöhung auf eine Länge = L bezeichnet. Indem dann aber die Wassermenge dem Producte der Geschwindigkeit in den Flächeninhalt des Canals gleich ist, so ist für eine Breite des Canals = a und eine Tiefe des Wassers = b der Flächeninhalt = ab, folglich das in einer Secunde abflieſsende Wasser = v . ab oder

$$M = ab . 2\sqrt{180\, g . b \frac{e}{L}} \ldots\ldots\ldots \text{III)}$$

wobei jedoch vorausgesetzt ist, daſs der Canal nicht merklich, auf jeden Fall nicht in einem rechten Winkel gekrümmt sey.

3. Auf welche Weise eine gegebene Wassermasse durch ihre Bewegung die Mühlräder umtreibe und hierbei sowohl von dem gegebenen Mittel der gröſste Effect erhalten, als auch letzterer für die einzelnen Operationen am zweckmäſsigsten benutzt werden könne, ist vielseitig untersucht worden; man hat hierbei wegen der Wichtigkeit der Sache sowohl die Theorie als auch die Erfahrung benutzt, und wenn beide nicht allezeit mit einander übereinzustimmen schienen, so lag hiervon die Ursache nicht sowohl in einer Mangelhaftigkeit der erstern, als vielmehr an einer unvollständigen Berüchsichtigung aller zu beachtenden Bedingungen, wie Barlow sehr richtig bemerkt. Hieraus ergiebt sich indeſs schon von selbst, daſs

1 Vergl. Art. *Strom.*

Digitized by Google

eine ins Einzelne eingehende Untersuchung, wenn diese noch obendrein bis zu einer Vergleichung der Resultate theoretischer Bestimmungen mit den durch Erfahrung aufgefundenen ausgedehnt werden sollte, sehr weitläufig seyn müsse und daher für den Plan unseres Werkes nicht passe, weswegen ich mich auch hierbei auf die Mittheilung der wichtigsten Resultate beschränken muſs, die ich hauptsächlich aus v. Gerstner's bekanntem Werke entlehne, worin die älteren Schriften über diesen nämlichen Gegenstand gröſstentheils vollständig benutzt sind[1]. Im Ganzen giebt es zwei Hauptarten von Mühlrädern, die mit horizontaler und mit verticaler Axe, wovon die erstern wieder in unterschlächtige, oberschlächtige und Kropfräder eingetheilt werden.

a. Unterschlächtige Mühlräder.

Die unterschlächtigen Mühlräder (Roues à aubes ou à palettes; *Undershot wheels*) bestehn allgemein aus einer Welle, an welcher vermittelst einer gehörigen Anzahl Speichen ein Kranz mit Schaufeln befestigt ist, deren Ebenen mit den durch die Axe der Welle gelegten zusammenfallen, und die daher in Folge des perpendiculär gegen sie gerichteten Wasserstoſses die Umdrehung des Rads bewirken. Ihrer Construction nach sind sie entweder *Strauberräder*, die in ihrer schlechtesten Gestalt aus einem bloſsen Kranze mit Einschnitten und darin eingekeilten Schaufeln bestehn, bei den bessern aber sind die letztern breiter und an beiden Seiten durch einen oder zwei mitten durch sie durchlaufende Ringe gesteift. Sie werden meistens bei wenigem Wasser und groſser Geschwindigkeit desselben angewendet. Bei weitem die am meisten gebräuchlichen sind die *Staberräder*. Sie bestehn aus zwei parallelen Ringen, deren jeder an besondern, gleichfalls einander parallelen Speichen befestigt ist, und zwischen denen die Schaufeln entweder insgesammt unbeweglich festsitzen, oder nur zum Theil, indem einige, in Nuten eingeschoben, sich erforderlichen Falls herausnehmen und auch beim Abgange leichter durch neue ersetzen lassen. Die gröſsten sind die

Fig. 213.

Fig. 214.

1 Für theoretische Untersuchungen ist zu empfehlen: Du Calcul de l'Effet des Machines cet. par Coriolis Par. 1829. 4. p. 168 ff.

Digitized by Google

Pansterräder, welche, im Ganzen wie die Staberräder gestaltet, breitere Schaufeln haben und daher durch einen oder zwei Ringe unter sich verbunden (verriegelt) werden. Man wendet sie da an, wo vieles Wasser von geringer Geschwindigkeit zu Gebote steht, und da sie durch eine gröſsere Geschwindigkeit des Wassers leicht Beschädigung leiden könnten, so sind sie mit einer Vorrichtung, einem *Panster*, verbunden, vermittelst dessen sie durch ein Hebelwerk, durch Schrauben oder seltener selbst durch einen Schwimmer nach dem verschiedenen Wasserstande gehoben oder herabgelassen werden. Fig. 215.

Da diese Räder insgesammt durch den Stoſs des Wassers umgedreht werden, so war vor allen Dingen erforderlich, diejenige Kraft auszumitteln, welche das Wasser ausübt, wenn es lothrecht gegen die Schaufeln flieſst, da eine schiefe Richtung desselben füglich unberücksichtigt bleiben kann, weil der Effect eines solchen Stoſses auf jeden Fall geringer ist und obendrein einen schädlichen Druck zur Seite erzeugt, man ihn daher überall nicht anwendet. Wird angenommen, daſs ein pariser Kubikfuſs Wasser 70 ℔ wiegt, so beträgt die im Zeitelemente dt mit einer Geschwindigkeit v ausflieſsende Wassermenge für eine Quadratfläche f^2 des zusammengezogenen Wasserstrahls $Q = 70 f^2 v\,dt$, und diese würde im Zeitelemente dt die Geschwindigkeit $2g.dt$ erhalten, mithin

$$70 f^2 v.dt : 2g.dt = Q : v, \text{ also } Q = 70 f^2 \frac{v^2}{2g} \ldots\ldots \text{ I)}$$

und da $\frac{v^2}{4g} = h =$ der Höhe des Wassers bis zum Spiegel desselben nach den Fallgesetzen substituirt werden kann, so ist

$$Q = 70\, f^2 \,.\, 2h,$$

oder *der Stoſs gegen eine ruhende Fläche ist doppelt so groſs, als das Gewicht einer Wassersäule von der Fläche des Querschnitts der zusammengezogenen Wasserader und der Höhe von der Mitte dieser Wasserader bis zum Wasserspiegel.* Dieser Satz ist von den Hydraulikern, namentlich Bossut und Langsdorf, durch Versuche bestätigt gefunden worden, indem sie den Wasserstrahl gegen eine verticale Scheibe richteten, die an einer Welle befestigt vermittelst eines an einem andern Hebelarme befestigten Gewichts gegen den Strahl fest-

gehalten wurde[1]. Hierbei versteht sich aber, daſs die geſtoſsene Fläche wenigstens viermal so groſs seyn muſs, als der kleinste Querschnitt der stoſsenden Wasserader, damit die ganze Kraft des gesammten Wassers zur Wirksamkeit komme.

Die Schaufeln ruhn indeſs nicht, sondern sie bewegen sich, das stoſsende Wasser muſs ihnen nachfolgen und das aufstauende Wasser vor sich hertreiben. Nach den Untersuchungen von Mariotte, Bossut und v. Gerstner beträgt daher der Stoſs der mit einer Geschwindigkeit $= v$ bewegten Wassermasse nur $70 . f^2 \frac{v}{2g} (v - c)$, wenn c die erlangte Geschwindigkeit der Radschaufeln bezeichnet. Dieser kann jedoch die Radschaufeln wegen ihrer Umdrehung nicht fortdauernd ganz treffen, sondern die letztern ziehn sich wegen der Kreisbewegung sofort aus dem Wasser, nachdem sie durch allmäliges Eintauchen den tieſsten Punkt erreicht haben, und es folgt hieraus ferner, daſs eine gewisse Anzahl Schaufeln, deren Zahl n seyn möge, gleichzeitig bis zu verschiedener Tiefe eingetaucht seyn müssen. Durch eine geometrische Construction, deren Mittheilung hier zu viel Raum einnehmen würde, läſst sich zeigen, daſs wenn das Wasser in einem horizontalen Gerinne flieſst und die Tiefe desselben bis wie weit die Schaufeln eintauchen $= b$, die Breite der Schaufeln $= a$ gesetzt wird, die bewegende Kraft des Wassers

$$K = 70 . ab . v \left(1 - \frac{v^2}{3(v - c)^2 n^2}\right) \left(\frac{v - c}{2g}\right) \ldots\ldots \text{II)}$$

beträgt. Aus einer nach dieser Formel für verschiedene Werthe berechneten Tabelle ergiebt sich, daſs die Zahl der Radschaufeln n nicht kleiner als $= 2$ seyn dürfe, mit gröſserem Vortheile aber $= 6$ bis 8 angenommen werde, wonach dann für einen gegebenen Halbmesser des Rads die gesammte Anzahl der Schaufeln an seiner Peripherie leicht gefunden wird. Als vortheilhafteste Geschwindigkeit ergiebt sich $c = 0,5\,v$, was damit im Einklange steht, daſs für $c = 0$, also beim Still-

1 Ueber den Stoſs eines Wasserstrahls gegen eine Fläche haben unter andern Dan. Bernoulli in Comm. Pet. VIII. 99 u. 113. und Kraft ebend. u. XI. 233. schätzbare Betrachtungen und Versuche bekannt gemacht. Vergl. Art. *Stoſs*.

Digitized by Google

stehn des Rads, zwar das gröſste Kraftmoment, aber kein Nutzeffect statt finden, für $c = v$ aber das erstere und somit auch der letztere wegfallen würde, zwischen welchen beiden das angenommene Maximum in der Mitte liegt. Endlich muſs aber das Rückstauen des Wassers die Bewegung des Rads hindern, und man nimmt daher als Regel an, daſs das Schuſsgerinne um die Höhe des Wasserstands in demselben geneigt seyn müsse, wobei v. Gerstner als vortheilhaft betrachtet, den untern Fachbaum der Schütze mit dem Spiegel des unterhalb der Mühlräder abflieſsenden Wassers in gleiches Niveau zu legen.

Die in der obigen Formel befindliche Geschwindigkeit $= v$ kann auf die unter Nr. 2. bereits angegebene bekannte Weise mit Rücksicht darauf, daſs bei ganz offener Schütze noch der Factor $= \frac{3}{4}$ einzuführen ist, leicht gefunden werden, die übrigen Gröſsen ergeben sich aus mitgetheilten Bestimmungen oder anzustellenden Messungen, und hiernach ist also K in Pfunden gegeben. Bei der hieraus unmittelbar folgenden Bestimmung des Nutzeffects fällt der Halbmesser des Rads weg, weil bei bestimmter Geschwindigkeit der Radschaufeln, also auch der Peripherie des Rads, hinsichtlich seiner Leistungen durch die gröſsere Länge des Halbmessers zwar an Kraft gewonnen, aber ebensoviel an Geschwindigkeit wieder verloren wird. Ist aber das einer gewissen Geschwindigkeit zugehörige Kraftmoment des Rads bekannt, so kann den gewünschten Leistungen die hierdurch bestimmte Ausdehnung nach bekannten mechanischen Gesetzen gegeben werden, wobei aber in Beziehung auf die praktische Anwendung sehr berücksichtigt werden muſs, daſs die verschiedenen technischen Arbeiten, z. B. bei den Mahlmühlen, Stampfmühlen, Malzwerken, Drahtziehereien u. s. w., eine gewisse Geschwindigkeit als die vortheilhafteste erfordern, welcher man daher bei der Anlage eines Gewerks möglichst nahe zu kommen suchen muſs. So liefern unter andern zahlreichen Erfahrungen zufolge die Mahlmühlen nur dann ein gutes Mehl, wenn die Peripherie der flachen Steine 22, der konisch gehauenen 17 par. Fuſs Geschwindigkeit in 1 Minute hat.

Ohne auf diese, für gröſsere Werke über die Mechanik gehörigen Untersuchungen weiter einzugehn, erwähne ich nur noch kürzlich die Beantwortung der wichtigen Frage, ob es

Digitized by Google

vortheilhafter sey, bei hinlänglichem oder überflüſſigem Waſſervorrathe mehrere Räder neben einander in eigenen Schuſsgerinnen, oder hinter einander in dem nämlichen Schuſsgerinne anzulegen. V. Gerstner erhält als Reſultat ſeiner Unterſuchungen, daſs die letztere Einrichtung bei weitem den gröſsern Nutzeffect gewährt, welches eine Folge der beſſern Benutzung des ſonſt wirkungslos abflieſsenden Waſſers iſt.

b. Oberſchlächtige Mühlräder.

Die oberſchlächtigen Mühlräder (Roues à augets; *Overshot-wheels*) beſtanden nach der ältern mangelhaften Conſtruction aus einem Kranze mit Schaufeln, nach Art der Strauberräder, von nicht groſsem Durchmeſſer, wobei das aus beträchtlicher Höhe in einem ſtark geneigten Gerinne herabſchieſsende Waſſer gegen die Schaufeln ſtieſs und dadurch das Rad umdrehte. Hiernach muſste das Waſſer nach ſeinem erſten Stoſse ſofort wieder von den Schaufeln abflieſsen und ſein weiterer Fall blieb alſo unbenutzt, wogegen die nächſte Verbeſſerung, indem man die Schaufeln zwiſchen zwei Ringe einſchloſs und einen Boden unter ſie legte, um das abflieſsende Waſſer zurückzuhalten, nicht genugſam ſicherte. Man ſtellte daher die auf gleiche Weiſe eingeſchloſſenen Schaufeln ſchräg; allein hierdurch ging ein groſser Theil des Stoſses verloren und dennoch lief das Waſſer ſehr bald ab, wenn die Schaufeln nicht ſehr ſchräg geſtellt, dadurch aber die Maſſe des Holzes und gleichzeitig das Gewicht des Rads bedeutend vermehrt wurden. Gegenwärtig wendet man daher allgemein die gebrochenen oder gekröpften Schaufeln an, wo- (Fig. 216.) von der obere Theil die *Stoſs*- oder *Setz-Schaufel*, der untere dagegen die *Kropf*- oder *Riegelſchaufel* heiſst. Die Conſtruction dieſer Räder unterliegt noch gröſsern Schwierigkeiten, als die der unterſchlächtigen, weil dabei viele Bedingungen zu berückſichtigen ſind, wenn man den vortheilhafteſten Nutzen von ihnen verlangt, namentlich die gehörige Gröſse der Zellen, damit ſie mehr Waſſer aufnehmen, die möglichſte Leichtigkeit des Rads, die gehörige Richtung der Stoſsſchaufeln, damit der Stoſs am wirkſamſten werde, die erforderliche Neigung derſelben, bei welcher ſie zugleich das Waſſer am längſten zurückhalten, ohne einen Theil deſſelben

Digitized by Google

als Hinderniſs der Bewegung wieder in die Höhe zu nehmen, und andere minder wichtige, welche noch obendrein insgeſammt ſolche Einrichtungen erfordern, daſs ſie ſich nicht gegenſeitig aufheben, ſondern vielmehr unterſtützen.

Sowohl die Conſtruction der oberſchlächtigen Räder als auch insbeſondere die Dimenſionen derſelben ſind demnach verſchieden und müſſen dieſes auch in Folge der ungleichen gegebenen Bedingungen ſeyn; dennoch aber laſſen ſich die folgenden Angaben als mittlere Beſtimmungen betrachten, die zu einer nähern richtigen Beurtheilung der Sache dienen können. Zuvörderſt wird der Durchmeſſer des Rads durch die Höhe des Gefälles beſtimmt, welches man in der Regel vollſtändig benutzt, indem nur ein kleiner Theil deſſelben dem Schuſsgerinne zugewendet wird, und nur in denjenigen Fällen, wenn man einem kleinen Rade eine groſse Geſchwindigkeit geben wollte, würde es zweckmäſsig ſeyn, das Waſſer aus einem langen und ſtark geneigten Schuſsgerinne auf daſſelbe aufſchlagen zu laſſen. Auf jeden Fall muſs das Schuſsgerinne ſo ſtark geneigt ſeyn, daſs die Geſchwindigkeit des aus ihm in die Zellen fallenden Waſſers nicht geringer ſey, als die des Rads, weil es die letztere ſonſt nicht vermehren, ſondern ſogar vermindern würde. Uebrigens folgt aus den bereits angegebenen mechaniſchen Principien unmittelbar, daſs man vermittelſt jeder gegebenen Geſchwindigkeit eines Rads jede verlangte Geſchwindigkeit der bewegten Maſchinen erhalten kann, jedoch allezeit mit einer dieſer umgekehrt proportionalen Kraftäuſserung. Indem aber das mechaniſche Moment einer gegebenen Waſſermaſſe der Fallhöhe proportional wächſt, allzuhohe Räder aber leicht anderweitige Unbequemlichkeiten herbeiführen, ſo folgt hieraus von ſelbſt, daſs man dem Rade keine unnöthige Höhe geben wird, jedoch findet man von 5 Fuſs bis ſelbſt 24 Fuſs Höhe, im Mittel darf man wohl 12 bis 18 Fuſs annehmen. Inzwiſchen hat dieſe groſse Verſchiedenheit dennoch auf die Dimenſionen der übrigen Theile keinen ſo bedeutenden Einfluſs, daſs ſich für dieſe nicht die vortheilhafteſten Beſtimmungen gleichfalls angeben lieſsen.

Die Wirkſamkeit des Rads hängt auſser der Höhe des Gefälles hauptſächlich von der Menge des Aufſchlagewaſſers ab. Iſt dieſes im Uebermaſs vorhanden, ſo läſst man das

überflüſsige über ein Wehr abfließen, dessen Anlegung insbesondere dann ganz unentbehrlich ist, wenn bedeutende temporäre Wasserschwellen der ganzen Anlage Gefahr bringen könnten, ist jedoch der Ueberfluſs nur temporär und nicht sehr bedeutend, so giebt man dem Schuſsgerinne einen seitwärts führenden Abfluſs, um das überflüſsige Wasser oder das, was beim Stillstande der Mühle nicht aufgestaut werden kann, fortzuschaffen. Die Menge des in den Zellen des Rads zur Bewegung desselben dienenden Wassers hängt von ihrer Breite ab, die gröſser oder geringer werden muſs, wenn man eine gewisse Kraft zu erlangen beabsichtigt; denn wollte man die Zellen höher machen, so kämen sie dem Centrum so viel näher und würden daher die verlangte Wirkung nicht erzeugen können. Bezeichnet demnach C das Centrum der Welle,
Fig. 217. abe die innere und onp die äuſsere Grenze des Radkranzes, so wird dieser durch den Theilstrich gmf in zwei Theile so getheilt, daſs die Höhe des innern bm ein Drittheil, des äuſsern hn aber zwei Drittheile ausmacht, und es werden dann in bm die Kropfschaufeln in der Richtung des Halbmessers, in mn aber die Setzschaufeln so eingesetzt, daſs der Winkel hmn 30 Grade beträgt. Der Flächeninhalt der einen Seite der Zelle ist also $J = \left(\frac{nh}{2} + bm\right) hm$, und wenn die Höhe des Radkranzes $= bm + hn$ durch g bezeichnet, die angegebene Eintheilung desselben aber beibehalten wird, vorausgesetzt, daſs die Zellen mit Wasser ganz gefüllt sind, so folgt aus $nh = \frac{2}{3}\varrho$ und $bm = \frac{1}{3}\varrho$

$$J = \tfrac{2}{3}\varrho \, . \, hm.$$

Flieſst dann ferner das Wasser oben bei o in die höchste Zelle des Rads in solcher Menge ein, daſs nichts davon ausläuft, bis die Kropfschaufel eine horizontale Lage erhält, so befindet sich in jeder Zelle von dieser bis zu derjenigen, deren Setzschaufel in einer durch das Centrum der Welle gehenden horizontalen Ebene liegt, eine dieser gleiche Menge Wasser. Von dieser an beginnt das Wasser auszuflieſsen und ist gänzlich ausgeflossen, wenn die Setzschaufel horizontal liegt, also bei rq, wenn sCe = 30 Grade ist, und da der Bogen bs, in welchem das Ausflieſsen anfängt und beendigt wird, 60 Grade einnimmt, so müssen durch gegenseitige Ausgleichung die darin befindlichen Zellen noch bis zur Hälfte mit Wasser ge-

füllt seyn. Die gesammte Menge des in den Zellen befindlichen Wassers ist also zwischen zwei parallele Bogentheile eingeschlossen, deren Länge $90^\circ + 30^\circ = 120$ Grade und deren Abstand zwei Drittheile der Höhe des Radkranzes beträgt. Man nennt dieses den *wasserhaltenden Bogen*[1], dessen Flächeninhalt bei bekanntem Halbmesser des Rads und gegebener Höhe des Radkranzes leicht zu finden ist, wovon jedoch die Dicke der Schaufelbreter abgezogen werden muſs. Die Höhe des Radkranzes ist zwar willkürlich, im Ganzen aber kann aus dem angegebenen Grunde dieselbe im Mittel füglich zu 9 Zoll als am meisten geeignet angenommen werden. Der kubische Inhalt des drückenden Wassers wird dann leicht gefunden, sobald die Breite des Radkranzes gegeben ist, und mir scheint eine nähere Erläuterung dieser einfachen geometrischen Aufgabe überflüssig zu seyn.

Man hat die Menge des wirksamen Wassers auf verschiedene Weise zu vermehren gesucht, wodurch aber leicht andere Nachtheile herbeigeführt werden. Am besten läſst sich dieses erreichen, wenn man die Kropfschaufeln nicht in der Verlängerung des Halbmessers einsetzt, sondern sie mit diesem einen Winkel von 60 bis 30 Graden machen läſst, in welchem Falle jedoch die Zahl der Schaufeln vermehrt wird. Bei der oben angegebenen Construction bringt man die Kropfschaufeln einander so nahe, daſs $hm = 2hn$ oder nur um sehr wenig kleiner wird, welche Bestimmung so ist, daſs der Punct n oder die äuſsere Kante der Setzschaufel bis an die verlängerte Ebene der folgenden Kropfschaufel reicht. Da von der Fläche des wasserhaltenden Bogens die Dicke der Schaufeln abgeht, so macht man die letztern möglichst dünn, also von Eisenblech, oder eben bei Rädern mit eisernen Kränzen von schwachen Beretern. Neuerdings hat man der gröſsern Dauerhaftigkeit wegen die Räder ganz von Eisen, und zwar die Speichen von Schmiedeeisen, die Schaufeln von Eisenblech und die übrigen Theile von Guſseisen zu verfertigen angefangen, oft aber behält man zur Vermeidung eines zu groſsen Gewichts noch die hölzernen Wellen mit einem eisernen Kranze

1 Nach J. A. Euler Enodat. quaest., quomodo vis aquae cum maximo lucro ad molas circumagendas cet. impendi possit. A Soc. Gott. praemio ornata. Gott. 1754.

zum Einstecken der Speichen bei. Das gröſsere Gewicht der Wellen wird indeſs leicht dadurch vermieden, daſs man sie sehr kurz macht und die Kammen zur Umtreibung des Getriebes an die eine Seite des Radkranzes angieſst.

Fig. 218. Zur Auffindung des statischen Moments des Wassers führt folgende Betrachtung. Es seyen $\alpha\alpha$ der innere, $\delta\delta$ der äuſsere Bogen des Radkranzes, $\beta\beta$ der Theilstrich und $\gamma\gamma$ ein Bogen, welcher die Fläche des Radkranzes so theilt, daſs $MN = \frac{2}{3} MO$ beträgt, so ist $MN = \frac{2}{3} \varrho =$ der Höhe des wasserhaltenden Bogens nach der oben angegebenen Bestimmung. Derselbe werde in mehrere willkürliche Theile mm', nn', $oo' \ldots\ldots$ getheilt und die Breite des innern Raums des Radkranzes B genannt, so ist für pariser Fuſsmaſs der kubische Inhalt eines solchen Theils

$$J' = 70 \,.\, mm' \,.\, ab \,.\, B.$$

Theilt man ab in zwei gleiche Theile und zieht man aus diesem Theilungspuncte v die verticale Linie vw, so ist das statische Moment des eingeschlossenen Wassers $= J' . Cw$. Werden dann die horizontalen Linien aa', bb', $cc \ldots\ldots$ und die verticalen $tb \ldots\ldots$ gezogen, so ist das Dreieck atb dem Dreiecke vwC ähnlich und $ab : bt = vC : wC$, also $ab \,.\, wC = bt \,.\, vC = a'b' \,.\, CA$, welche Werthe substituirt das statische Moment

$$M = 70 \,.\, mm' \,.\, B \,.\, a'b' \,.\, CA$$

geben. Dieses Verfahren für alle einzelne Abtheilungen fortgesetzt giebt das ganze statische Moment des wasserhaltenden Bogens von a bis $A = 70 \,.\, MN \,.\, B \,.\, a'A \,.\, CA$. Diese Gröſse wird aber noch durch den unter der horizontalen Linie CA befindlichen Theil vermehrt, und somit ist das gesammte statische Moment des wasserhaltenden Bogens

$$M' = 70 \,.\, MN \,.\, B \,.\, a'u' \,.\, CA,$$

das heiſst es gleicht einem auf den Halbmesser aus dem Centrum der Welle bis an den Theilstrich drückenden Wasserprisma, dessen Grundfläche $\frac{2}{3}$ der Höhe des Radkranzes und die innere Breite des Radkranzes als Seiten hat, dessen Höhe aber der verticalen Linie von der ersten angefüllten Zelle bis zur Mitte des Bogens zwischen dem anfangenden und dem vollendeten Ausflusse gleich ist. Sind also die Schaufeln auf die angegebene Weise eingesetzt und von der obersten an mit Wasser gefüllt, so ist $a'A = \beta C$, ferner ist $Au' = \sin. 30° = 0{,}5$,

Digitized by Google

und heiſst dann der Halbmesser des Rads bis an den Theilstrich R', die Höhe des Radkranzes ϱ, so wird in Pfunden

$$M = 70\,B \,.\, \tfrac{3}{2} R'^2 \,.\, \tfrac{2}{3} \varrho = 70\,B \,.\, R'^2 \,.\, \varrho$$

das statische Moment des Wasserprisma's, wodurch das Rad mit der auf einen andern Hebelarm wirkenden Last ins Gleichgewicht kommt. Man darf jedoch nicht annehmen, daſs das Wasser in die oberste Zelle einflieſse, vielmehr würde dieses selbst in der Anlage Schwierigkeiten haben, und die praktischen Baumeister nehmen vielmehr als Regel an, dasselbe zuerst in die dritte oder vierte Zelle einströmen zu lassen. Nimmt man also an, daſs der Abstand des Wassers in der ersten gefüllten Zelle vom verticalen Halbmesser 20 Grade betrage, so ist hiernach

$$M = 70 \,.\, B \,.\, \tfrac{2}{3} \varrho \,.\, R'^2 \,(\cos.\,20^\circ + \sin.\,30^\circ).$$

Inzwischen ist es gerade nicht am vortheilhaftesten, die Füllung bis zu $\frac{2}{3}$ der Höhe des Radkranzes als Regel anzunehmen, vielmehr zieht man vor, die Zellen breiter zu machen und weniger zu füllen, weil dann daſs Ausflieſsen nicht so bald anfängt und erforderlichen Falls eine stärkere Füllung zu erhalten steht. Die bisherige Betrachtung zeigt also nur im Allgemeinen, und hierfür hinlänglich genähert, die Methode, nach welcher die Kraft des auf das Rad wirkenden Wassers berechnet werden kann.

Von den vielen Untersuchungen, welche auſserdem noch erforderlich sind, um zu bestimmen, auf welche Weise man von den oberschlächtigen Rädern den gröſsten Nutzeffect erhalten könne, will ich nur einige der wesentlichsten Resultate mittheilen. Zuerst folgt schon aus der Natur der Sache, daſs man suchen müsse, ein möglichst hohes Gefälle zu erhalten und diesem gemäſs also den Halbmesser des Rads zu vergröſsern, dessen statisches Moment dem Quadrate dieses Halbmessers proportional ist. Von dem gegebenen Gefälle geht aber ein Theil ab, welcher dem zuflieſsenden Wasser zugewandt werden muſs, damit dieses mit einer gewissen Geschwindigkeit in die Zelle falle. Der Nutzeffect dieser Geschwindigkeit kommt zwar der Bewegung des Rads zu statten, allein eine nähere Untersuchung zeigt dennoch, daſs es vortheilhaft sey, den Raum zwischen dem obersten Theile des Radkranzes und dem Schuſsgerinne, das sogenannte *Freihängen* des Rads, nur geringe zu machen. Dagegen ist es nothwendig, dem ab-

Digitized by Google

fließenden Waſser das gehörige Gefälle zu geben, weil die Bewegung des Rads ausnehmend gehindert wird, wenn daſselbe mit dem Stauwaſser in Berührung kommt. Fließt das Waſser durch die Oeffnung einer Schütze, hinter welcher es noch aufgeſtaut iſt, ſo muſs die Schütze lothrecht über dem Mittelpuncte des Rads ſtehn und das zuleitende Gerinne nur bis zu dieſer lothrechten Linie reichen, wobei dann das in einer paraboliſchen Bahn herabſtürzende Waſser in die dritte oder vierte Zelle von der vertical unter der Schütze befindlichen fallen wird. Von gröſster Wichtigkeit iſt ferner die Geſchwindigkeit des Rads, die zum Nachtheile des zu erhaltenden Effects meiſtens zu groſs genommen wird; inzwiſchen folgt aus dem, was in Beziehung auf die unterſchlächtigen Räder hierüber bereits geſagt iſt, daſs auch für die oberſchlächtigen am beſten $c = \frac{1}{2} v$ genommen werde[1]. Hierdurch wird dann zugleich auch die Schwungkraft kleiner, welche bekanntlich $= \frac{c^2}{2g \cdot R}$ iſt und die Wirkung des Waſserdrucks vermindert. Eine Hauptfrage iſt ferner, bei welchem Gefälle ein oberſchlächtiges oder ein unterſchlächtiges Rad vortheilhafter ſey. Daſs ein zu geringes Gefälle überall kein oberſchlächtiges Rad geſtatte, verſteht ſich von ſelbſt, indeſs wird der Effect beider nach v. Gerstner ſchon gleich, wenn das Gefälle 5,5 Fuſs beträgt, vorausgeſetzt, daſs das oberſchlächtige auf die oben angegebene Weiſe gebaut ſey, wird dagegen der Theilriſs in die Mitte des Radkranzes geſetzt, werden die Zellen nur zum vierten Theile ihres Inhalts mit Waſser gefüllt, erhalten die Setzſchaufeln einen Winkel von 20°,5 ohne die Zahl derſelben zu vermehren, ſo daſs alſo das Waſser vor dem Ausfließen tiefer herabſinkt, ſo liefern beide Räder ſchon bei 4,5 Fuſs Gefälle eine gleiche Wirkung. Der Vortheil fällt noch mehr auf die Seite der oberſchlächtigen, wenn

1 Bei vielen oberſchlächtigen Rädern iſt die Geſchwindigkeit entſchieden zu groſs, ſo daſs das am höchſten einfallende Waſser wegen der vom Rade durch die Wirkung des bereits tiefer herabgefallenen Waſsers angenommenen Geſchwindigkeit gar nicht drücken kann. Hieraus ſcheint es mir erklärbar, daſs der Nutzeffect der Räder nicht auf die Hälfte herabſinkt, wenn man das Aufſchlagwaſser im gleichen Verhältniſse vermindert, wie unter andern auch v. Gerstner bei mehrern Verſuchen gefunden zu haben verſichert.

Digitized by Google

ihr Freihängen dadurch vermieden werden kann, daſs der Abfluſs des Wassers nach derjenigen Richtung statt findet, nach welcher sie sich bewegen.

c. Kropfräder.

Neuerdings sind die Kropfräder (Brusträder; *Brest-Wheels*), bei denen das Wasser seitwärts auffällt und daher das Schuſsgerinne eine Neigung nach der Biegung des Rads, einen Kropf erhält, namentlich in England, aber auch in der Schweiz und anderweitig sehr in Aufnahme gekommen, und da sie sowohl nach der Theorie als auch nach den Ergebnissen der Erfahrung mehr leisten, so verdient das Wesentliche ihrer Construction hier noch kurz erwähnt zu werden. Sie scheinen ursprünglich durch Smeaton angegeben worden zu seyn, indem die unterschlächtigen Kropfräder in England nach ihm *Smeaton'sche* Räder heiſsen[1], später aber hat man das bei ihnen zum Grunde liegende Princip auf verschiedene Weise in Anwendung gebracht. Von wesentlichem Nutzen ist es oft, das Schuſsgerinne nicht über das Rad hinzuführen, wobei das Wasser von oben herab auffällt, sondern es von der Seite in die Zellen flieſsen zu lassen. Hierdurch wird in vielen Fällen deswegen gewonnen, weil auf diese Weise ein geringeres Gefälle noch auf eine ähnliche Art als bei oberschlächtigen Rädern benutzt werden kann, abgerechnet daſs das Stauwasser dann weit leichter in der Richtung der Radbewegung abflieſst. Auſser diesem Gewinne ergiebt eine genauere Vergleichung, daſs bei den Kropfrädern ein geringerer Verlust der vorhandenen Kraft statt findet, als bei den oberschlächtigen, und dieses um so mehr, je höher das Gefälle überhaupt ist, so daſs den Kropfrädern unter jeder Bedingung der Vorzug gebührt. Dabei muſs die Breite des Rads so sehr vermehrt werden, daſs die Zellen nur zum vierten oder wohl gar nur bis zum sechsten Theile mit Wasser gefüllt sind, die Setzschaufeln erhalten dann einen Winkel von nur etwa 21 Graden mit

---

1 Eine schätzbare Schrift, welche von den Rädern überhaupt handelt, ist: Experimental Enquiry concern. the natural power of Wind and Water to turn Mills and other Machines. By J. Smeaton. Lond. 1796.

Digitized by Google

dem Theilriſse, ohne ihre Zahl bedeutend zu vermehren, um nicht das Gewicht des Rads zu sehr zu vergröſsern, hauptsächlich aber muſs die Geschwindigkeit des Rads nicht zu groſs seyn, indem viele Räder eben deswegen weit unter dem erwarteten Effecte zurückbleiben, weil ihre Umläufe zu schnell erfolgen. Die nach den beſsern Principien gebauten neuern Räder haben deswegen auch eine auſserordentliche Breite, z. B. das zu Belper unweit Derby hat 15 Fuſs Breite bei 21,5 Fuſs Durchmesser und 14 Fuſs Gefälle für den mittlern Wasserstand, alles im englischen Fuſsmaſs genommen.

Die Kropfräder können daher unmittelbar von der Grenze der oberschlächtigen anfangen, indem das Kropfgerinne das Wasser in tiefer liegende Zellen ausschüttet, folglich sein Ausguſs zunehmend tiefer herabgesenkt oder vielmehr die Höhe des obersten Theils des Radkranzes zunehmend höher über denselben hinausgerückt wird, bis der Ausfluſs des Wassers mit dem Centrum des Rads in einer horizontalen Ebene liegt. Man könnte diese Räder insgesammt *oberschlächtige Kropfräder* nennen, die hiernach bis zu den *mittelschlächtigen*, als welche in der bezeichneten Grenze liegen müſsten, herabgehn würden. Von hieran fingen dann die *unterschlächtigen Kropfräder* an und gingen bis zu den sogenannten unterschlächtigen herab.

Ueber die in den verschiedenen Fällen zweckmäſsigste Richtung der Schaufeln findet man bedeutend von einander abweichende Vorschriften. Ist der Waſservorrath überwiegend groſs, so kann man nach Smeaton's anfänglicher Angabe für unterschlächtige Kropfräder auch solche wählen, deren Fläche auf dem Radkranze perpendiculär ist, die dann aber durch Bodenbreter bedeckt seyn müssen; bei weitem in den meisten Fällen aber verdienen die gekröpften Schaufeln den Vorzug, und für diese dürfte im Allgemeinen als Regel gelten, daſs das Wasser parallel mit den Satzschaufeln einfällt und lothrecht gegen die Kropfschaufeln stöſst. Rücksichtlich einer ausführlichern Erörterung dieser Aufgabe verweise ich auf die gröſsern Werke von v. Gerstner, Eytelwein[1], Neumann[2],

1 Handbuch der Mechanik fester Körper und der Hydraulik. 2te Aufl. S. 258.

2 Der Wasser-, Mahl-, Mühlenbau. Berl. 1810. 4. 1stes Heft.

Digitized by Google

Buchanan[1], die bereits mehrerwähnten von Christian[2], Borgnis, Hachette, Langsdorf und andere. Auſserdem kann ihr Bau aus der Ansicht der bereits mitgetheilten Zeichnungen so leicht abstrahirt werden, daſs es mir überflüssig scheint, ihn noch durch eigene Figuren zu versinnlichen, um so mehr als dieses zugleich mit der Beschreibung der Schützen geschehn kann, über die es gut seyn wird, später noch einiges aufzuführen.

Jüngsthin hat Poncelet eine verbesserte Construction der unterschlächtigen Räder angegeben[3], die so viel Beifall in Frankreich gefunden hat, daſs dem Erfinder einer der vom Grafen Monthyon gestifteten Preise zuerkannt wurde und man diese neuen Räder mit dem Namen der Poncelet'schen bezeichnet. Durch die eigenthümliche Einrichtung dieser Räder wird in der Hauptsache beabsichtigt, daſs das Wasser in der Richtung der Schaufeln in die Zellen flieſsen, auf diesen wie auf der geneigten Ebene aufsteigen und dann durch den Rückstoſs seine ganze Geschwindigkeit verlieren soll, die somit dem Rade zu Theil wird. Um daher den Schaufeln die hierzu erforderliche Krümmung zu geben, wird die Höhe des Radkranzes so angenommen, daſs sie nie weniger als den vierten Theil der ganzen Fallhöhe beträgt. Man fällt alsdann das Fig. 219. Perpendikel Cb vom Centrum auf die äuſsere Peripherie des Radkranzes, zieht die Linie bo so, daſs der Winkel $Cbo = 10^{\circ}$ ist, zeichnet den Kreis $\alpha\gamma\beta$ auf $\frac{1}{4}$ oder $\frac{1}{8}$ der Höhe des Radkranzes über der innern Peripherie des letztern, nimmt den Halbmesser $\gamma\varrho = \gamma b$ und zieht mit diesem den Bogen ϱb, so giebt dieser die Gestalt der Radschaufeln, deren Anzahl auf gleiche Weise als bei oberschlächtigen bestimmt wird. Hiernach kämen auf ein Rad von 4 bis 5 Meter Durchmesser ungefähr 36 bis 40 Schaufeln. Ein aus Kupfer sehr schön gearbeitetes Modell von etwa 1,5 Meter Durchmesser, welches ich im *Conservatoire des arts* zu Paris gesehn habe, liefert nach

1 Essay on Mill-work and other Machinery. Lond. 1814.

2 Mécanique industrielle. T. I. p. 308 ff.

3 Ann. Ch. et Phys. T. XXX. p. 136 u. 338. Mém. sur les roues hydrauliques verticales à aubes courbes cet. Par. 1826. 4. Mém. sur les roues hydrauliques à aubes courbes mues par dessous cet. Metz 1827. 4. Vergl. Hachette Traité élém. de Mécanique. p. 131.

Digitized by Google

den damit gemachten Proben ausgezeichnete Wirkungen und soll die nach der gewöhnlichen Methode gebauten unterschlächtigen Räder bei weitem übertreffen. Für diese Räder wird ein gegen den Horizont geneigtes Gefälle erfordert, wie die Figur dasselbe zeigt; auch ist darin die oft vorgeschlagene Einrichtung ausgedrückt, wonach für das abflieſsende Wasser in geringer Entfernung vom tiefsten Puncte des verticalen Halbmessers des Rads eine Vertiefung angebracht wird, so daſs der Boden unter dem Rade mit der Oberfläche des Stauwassers hinter demselben in einer horizontalen Ebene liegt.

Da es für die stärkste Wirkung der Räder von groſser Wichtigkeit ist, den Wasserzufluſs genau zu reguliren, so hat man neuerdings die Schützen auf vielfache Weise zu verbessern gesucht. Ohne hierüber ins Einzelne einzugehn, bemerke ich nur in der Kürze, daſs man die Schützenbreter zuweilen herabdrückt, um den Wasserzufluſs zu vermehren, wobei das Wasser dann über das Schützenbret überläuft oder auch bei vorhandener Stauung vor der Schütze[1] aus einer durch das herabgedrückte Schützenbret gebildeten gröſsern oder kleinern Oeffnung ausflieſst. Eine in neuern Zeiten in England zuweilen gemachte Einrichtung besteht darin, daſs die Oeffnung des Schuſsgerinnes in einiger Entfernung vor dem Ausflusse des Wassers durch eine gewöhnliche gute und dauerhafte Schleuse verschlossen, die eigentliche Ausfluſsöffnung aber nach der Krümmung des Rads zum dichtern Anschlieſsen oder vielmehr gröſserer Annäherung an die Peripherie des Radkranzes gekrümmt und mit 2 bis 3 Zoll von einander abstehenden horizontalen Eisenstäben versehn wird, um gröſsere fremdartige Körper zurückzuhalten. Auf den Boden des (eisernen) Schuſsgerinnes ist dicht hinter der eigentlichen, am weitesten vom Rade abstehenden Schütze ein breites Leder festgenagelt, welches vom Wasser gegen den Boden gedrückt wird, von da an sich über die eiserne Stange legt und mit dem andern Ende um eine Walze gewickelt ist, deren Zapfen an beiden Seiten in den Ringen zweier gezahnter Stangen ruhn, um durch diese vermittelst eines Getriebes aufgezogen und niedergelassen zu werden. Das Wasser flieſst dann bloſs über diese Walze

1 Vor der Schütze nenne ich diejenige Seite, welche dem zuflieſsenden Wasser und nicht dem Rade zugewandt ist.

nach dem Verhältniſse ihrer Höhe in geringerer oder gröſserer Menge; damit sich aber das Leder stets straff um die Walze wickele, indem diese sich beim Auf- und Herabgehn stets um ihre Axe dreht, ist um beide Enden der Walze ein starker Riemen gewunden, über eine Rolle geleitet und am andern Ende mit einem schweren Gewichte versehn. Man kann vermittelst dieser Vorrichtung allerdings die Menge des Wassers ganz nach Willkür reguliren. Ob aber das Leder im Wasser genugsam ausdauert, vermag ich nicht zu entscheiden[1].

d. Räder mit verticaler Axe.

Räder mit verticaler Axe giebt es allerdings, jedoch kenne ich solche, die auf die gewöhnliche Weise durch den Wasserstoſs umgetrieben werden, nur aus Beschreibungen, und wage nicht zu entscheiden, wo etwa ein solches wirklich in Anwendung gebracht worden ist; jedoch erwähnt Barlow[2] sie als nicht ungewöhnlich für Mahlmühlen, wobei sie den Vortheil gewähren, daſs sie wenig Raum einnehmen und sehr einfach construirt sind, weil der Mühlstein unmittelbar an ihrer Axe befestigt wird, weswegen sie aber eine groſse Geschwindigkeit haben müssen. Ihre Construction ist sehr einfach, denn sie bestehn aus einer verticalen Axe, die wegen dieser ihrer Richtung eben nicht von groſser Stärke seyn muſs, mit einem horizontalen Rade am untern Ende, auf dessen Kranze die Schaufeln mit einiger Neigung gegen die Ebene desselben so aufgesetzt sind, daſs der Wasserstoſs lothrecht gegen sie gerichtet ist und somit die Umdrehung des Rads

---

1 Wie auf verschiedene Weise die Mühlräder für die zahlreichen Gewerbe benutzt werden, kann ohne die Grenzen dieses Werks zu überschreiten hier nicht erörtert werden, eben so wenig auch die Art, wie man die Kraft der Mühlräder vermittelst des Dynamometers miſst, worüber Hachette und insbesondere Egen in ihren genannten Werken die beste Auskunft geben. Auſserdem findet man zahlreiche Vorschläge zur Verbesserung und Anwendung der Räder von Smart, Perkins u. a. in Transact. of the Soc. for encouragement of Arts, Manufactures and Commerce. Vergl. Parrot über Verbesserung im Baue der Mühlräder. Nürnb. 1795.

2 Encyclop. metrop. Mixed. Sc. T. I. p. 244. Ich erinnere mich, irgendwo ein solches gesehn zu haben, bin aber von seiner Wirkung nicht genauer unterrichtet.

Digitized by Google

bewirkt. Die Schaufeln müssen aber, um die gesammte Wirkung des Stoſses zu erhalten, eine viermal so groſse Fläche haben, als die des Querschnitts der sie treffenden Wasserader beträgt, indem das Wasser im Schuſsgerinne über der obern Fläche des Rads herabschieſst und zuletzt eine fast horizontale Richtung erhält, um die getroffenen Schaufeln mit ganzer Gewalt fortzustoſsen, deren schräge Richtung mit sich bringt, daſs das von ihnen herabgleitende Wasser ihre Bewegung befördert.

Ungleich bekannter ist das Segner'sche Wasserrad oder Barker's Mühle ohne Rad und Trilling, wovon man fast in allen physikalischen Cabinetten ein Modell findet, jedoch vermisse ich eine Beschreibung und nähere Prüfung desselben in mehrern gröſsern Werken über die praktische Maschinenkunde. Die erste wissenschaftliche Erörterung des bei dieser Maschine wirksamen Princips, nämlich die Reaction eines aus einem Gefäſse strömenden Wasserstrahls gegen die diametral entgegenstehende Wand des Gefäſses, findet man in den Schriften des Johann Bernoulli[1], die Anwendung desselben auf die Umdrehung eines verticalen Cylinders und die hierauf beruhende Construction einer Mühle wurde durch Segner[2] bekannt gemacht. Die von ihm beschriebene und durch eine Figur erläuterte Maschine besteht aus einem verticalen Cylinder, welcher auf einem Zapfen ruht und am untern Theile mit 4 einander durchkreuzenden, perpendiculär auf die Axe des Cylinders gerichteten Röhren versehn ist, aus deren Seitenöffnungen das oben einflieſsende Wasser in horizontaler Richtung ausströmt. In der Axe des Cylinders befindet sich oben eine Spindel, welche durch einen horizontalen Balken geht und am obern Theile mit einem gezahnten Rade versehn ist, dessen Zähne in das verticale Getriebe derjenigen Spindel eingreifen, welche unmittelbar den Mühlstein umtreibt. Es ist also unrecht, wenn man vom Segner'schen Wasserrade und der Barker'schen Mühle als zwei verschiedenen Maschinen redet, wie gewöhnlich geschieht, denn die Mühle selbst ist durch Segner 25 Jahre früher angegeben worden, als Barker's ganz

1 Hydraulica. ed. 1732. u. in Opp. T. IV.

2 Machinae cuiusd. hydraulicae theoria geom. u. Computatio formae atque virium mach. hyd. nuper descriptae. Gott. 1750. 4.

Digitized by Google

ähnliche Conſtruction bekannt wurde. Allerdings hat Barker[1], deſſen Maſchine durch Rumsey verbeſſert wurde, das obere gezahnte Rad ganz weggelaſſen und den Mühlſtein unmittelbar an der Spindel des Cylinders befeſtigt, allein dieſes iſt keine eigentliche Verbeſſerung, vielmehr würde es unleugbar vortheilhafter ſeyn, das gezahnte Rad beizubehalten und hierdurch die Umlaufsgeſchwindigkeit zu vermindern, als namentlich bei Mahlmühlen dem Cylinder und dem Mühlſteine die für den letztern nothwendige gröſsere Geſchwindigkeit zu ertheilen.

Die in den Cabinetten befindlichen Modelle ſind gewöhnlich von Weiſsblech, unten mit einer runden Schüſſel zur Aufnahme des Waſſers verſehn, oben aber pflegt die verlängerte Axe der Spindel durch eine feſte runde Scheibe geſteckt und mit einer zweiten, dieſer feſten parallelen und beweglichen verſehn zu ſeyn, die den Mühlſtein vorſtellt. Die in der Zeichnung dargeſtellte Figur zeigt die Maſchine ſo, wie ſie in der Wirklichkeit ausgeführt werden müſste. Hierbei iſt CC eine feſte Unterlage von Stein, auf welcher die maſſive Eiſenplatte cc mit der Vertiefung zur Aufnahme des untern koniſchen Zapfens ruht, die man wegnehmen kann, falls ſie zu ſehr ausgeſchliffen ſeyn ſollte, nachdem der Cylinder durch Traghölzer auf der Unterlage CC zuerſt unterſtützt und dann vermittelſt Keile gehörig gehoben iſt. Der Cylinder A, welcher wohl am zweckmäſsigſten aus Bretern nach Art der Fäſser mit Reifen zuſammengefügt und nicht zu weit ſeyn müſste, um weniger Gewicht zu haben, auch etwas koniſch, um die umgelegten Bänder gehörig anzutreiben, erhält oben eine Erweiterung rr zur Aufnahme des einflieſsenden Waſſers aus dem Gerinne F, in welchem zwar das Waſſer zur Erhaltung eines höhern Waſſerdrucks kein Gefälle haben wird und deſſen auch nicht bedarf, dennoch iſt ein geringes kaum vermeidlich, und man thut daher wohl, den dadurch entſtehenden Stoſs ſo zu benutzen, daſs die Umdrehung des Cylinders dadurch auf keine Weiſe gehindert, womöglich dagegen etwas befördert wird. Die beiden einander diametral entgegenſtehenden Röhren a und b mit den an den Enden einander gegenüberſtehenden Aus- Fig. 220.

---

1 Transactions of the Amer. Phil. Soc. T. III. p. 185. Philad. 1775.

Digitized by Google

flufsöffnungen α und β dienen als Hebelarme zur Umdrehung des Cylinders. Die in der Axe des Cylinders durch die erforderlichen Speichen befestigte Spindel q mit dem gezahnten Rade o und der Welle p sind an sich klar, auch läſst sich keine bestimmte Dimension der beiden letztern angeben, da diese vielmehr durch anderweitige Bedingungen erhalten wird.

Die Theorie dieses Rads ist gleich anfangs von Segner angegeben worden, nachher haben aber insbesondere L. Euler [1], Kraft [2] und J. A. Euler [3] dieselbe ausführlich vorgetragen und zugleich auf die sämmtlichen dabei in Betrachtung kommenden Bedingungen Rücksicht genommen; auch Barker's Mühle ist früher durch Waring [4], neuerdings durch Ewart [5] genauer untersucht worden. Später hat Mannoury-Dectot [6] das nämliche Princip bei mehrern Mühlen nach dem Berichte von Prony, Perier und Carnot mit groſsem Nutzen in Anwendung gebracht, und Gilbert erwähnt eine solche Mahlmühle, die zu Nörten bei Göttingen mehrere Jahre im Gange war. Endlich sind verschiedenen Angaben nach mehrere solche Mühlen in America und hauptsächlich in Ruſsland wirklich und mit gutem Erfolge erbaut worden. Wenn man die Wirkung dieser Mühlen allseitig untersucht und zugleich die sämmtlichen dabei in Betrachtung kommenden Bedingungen berücksichtigt, so ist dieses allerdings eine weitläuftige und schwierige Aufgabe, dagegen aber lassen sich die Hauptelemente sehr leicht übersehn, die ich daher hier nur kurz anzugeben mich begnüge. Zuerst ist der Druck, welchen das Wasser nach der den Ausfluſsöffnungen gegenüberstehenden Seite ausübt, wenn man vorläufig diese Maschine als stillstehend betrachtet, leicht aufzufinden, indem derselbe dem Gewichte eines Wassercylinders von der Basis des Flächeninhalts der Oeffnung und

1 Mém. de l'Acad. de Berlin 1750. p. 311. Ebend. 1754. p. 227. Nov. Comm. Pet. T. VI. p. 312.

2 Nov. Act. Ac. Petrop. T. X. p. 137.

3 Enodat. quaest. quomodo vis aquae cum maximo lucro ad molas circumagendas cet. impendi possit; praemio ornata a Soc. Gott. 1754.

4 Trans. of the Amer. Phil. Soc. T. III.

5 The Phil. Magaz. and Ann. of Phil. III. 416. Mit Anmerkungen von Ivory.

6 Moniteur 1813. Janv. 6me. Daraus in G. XLIII. 166.

Digitized by Google

der lothrechten Höhe vom Schwerpuncte jener Fläche bis zum Wasserspiegel gleich zu setzen ist. Hierbei ſinde ich jedoch die Frage nirgends erörtert, ob der ganze Inhalt jener Fläche der Oeffnung, oder nur der kleinere der zusammengezogenen Wasserader in Rechnung zu nehmen sey, bin aber geneigt, das Letztere anzunehmen, da die Zusammenziehung durch seitwärts zuströmende Wassertheilchen bewirkt wird, mithin nur eine diametral entgegenstehende Reaction des in lothrechter Richtung auf die Axe des zu bewegenden Cylinders ausströmenden Wassers statt finden kann. Hiernach muſs also bei der Berechnung der Coefficient $m^{(n)}$ für die *vena contracta* mit aufgenommen werden. Nach den oben bereits mitgetheilten Bestimmungen ist also zuerst die Geschwindigkeit des ausströmenden Wassers $v = 2\sqrt{gh}$, wenn v diese Geschwindigkeit in einer Secunde, g den Fallraum in dieser Zeit und h die lothrechte Höhe vom Schwerpuncte der Oeffnungsfläche bis zum (constanten) Wasserspiegel im Cylinder bezeichnet, und diesemnach beträgt die Menge des in einer Secunde ausströmenden Wassers $M = m^{(n)} f^2 v$, wenn f^2 den Quadratflächeninhalt der gesammten, in gleicher Höhe angenommenen, Ausfluſsöffnungen bezeichnet. Soll hieraus das mechanische Moment des ausflieſsenden Wassers gefunden werden, so darf man nur berücksichtigen, daſs die Reaction ausströmender Flüssigkeiten dem Stoſse gleich ist, welchen sie ausüben, und wir erhalten also, wie oben (unter a im Anf.) gezeigt worden ist, auch hier $Q = 70 f^2 2h$, oder das bewegende Moment gleicht dem Gewichte einer Wassersäule von der Basis des Flächeninhalts der zusammengezogenen Wasserader und der doppelten Höhe bis zum Wasserspiegel im Cylinder. Hiermit stimmen dem Wesen nach die Resultate der gesammten ausführlichern Untersuchungen überein, auch kann nicht in Frage seyn, daſs das hiernach gefundene Kraftmoment mit der Länge des Hebelarms vom Schwerpuncte der Ausströmungsöffnung bis zur Axe des Cylinders multiplicirt werden müsse; allein dann kommt noch die Schwungkraft hinzu, wodurch der Ausfluſs befördert und also das Bewegungsmoment vermehrt wird[1].

1 Einige Schriftsteller legen auf diese Schwungkraft als Mittel zur Vermehrung der Wirkung einen groſsen Werth, allein dieses findet nur insofern statt, als dadurch die Menge des ausflieſsenden Wassers

Dieſe iſt bekanntlich $k = \frac{v^2}{2gr}$, allein hierbei kann als Geſchwindigkeit nur diejenige genommen werden, womit ſich die Ausfluſsöffnung bewegt. Auſserdem wirkt die Schwungkraft nicht bloſs auf das ausflieſsende Waſser, ſondern auch auf das im Cylinder enthaltene, bei letzterem aber der Schwere entgegen, alſo die Geſchwindigkeit des Ausfluſſes vermindernd, indem bei einer gewiſſen Geſchwindigkeit $\frac{v^2}{r} = 2g$ die Wirkung der Schwere ganz aufhört. Die Schwungkräfte beim Waſſer im Cylinder und dem ausflieſsenden verhalten ſich wie R : r, wenn der Halbmeſſer des Cylinders mit r, die Länge der Röhre von der Axe des Cylinders bis zur Ausfluſsöffnung mit R bezeichnet werden, allein da bei gleichzeitigen Umdrehungen $v : V = r : R$, ſo verhalten ſich $k : K = \frac{V^2 r^2}{R^2} : \frac{v^2 R^2}{r^2}$. Behalten wir alſo die Bezeichnung von f^2 bei, und wird die Geſchwindigkeit der Oeffnung, woraus das Waſſer flieſst, = w geſetzt, ſo iſt die in einer Secunde ausſtrömende Waſſermenge

$$M = f^2 v + f^2 \frac{w^2}{2gR} - f^2 \frac{w^2}{2gr} \times \frac{r^2}{R^2}$$

$$= \left(v + \frac{w^2}{2gR} - \frac{w^2 r}{2gR^2}\right).$$

Wird dann das mechaniſche Moment des ausflieſsenden Waſſers als ein Product der Maſſe in die Geſchwindigkeit betrachtet, ſo kann dieſe Geſchwindigkeit keine andere ſeyn, als die Differenz derjenigen, womit das Waſſer ausflieſsen müſste, und derjenigen, womit die Ausſtrömungsöffnung ſich nach entgegengeſetzter Richtung bewegt, alſo v — w. Hiernach wäre $Q = M\,(v - w)$ oder

$$Q = f^2 \left(v + \frac{w^2}{2gR} - \frac{w^2 r}{2gR^2}\right) (v - w).$$

Wie groſs die Geſchwindigkeit w im Verhältniſs zu v für den gröſsten Nutzeffect ſeyn müſſe, iſt ſchwer zu beſtimmen, indeſs ſcheint es mir auch hierbei am beſten, $2w = v$ anzunehmen.

---

vermehrt wird, mithin iſt bei dieſer Mühle, wie bei allen andern, das Kraftmoment der Menge des Aufſchlagwaſſers und ſeiner Fallhöhe proportional.

Digitized by Google

Ueber die Wirkungen dieser Maschine, verglichen mit denen der sonstigen Mühlräder, sind die Bestimmungen der Geometer sehr abweichend, indem einige sie sehr hoch schäzzen, andere aber ganz verwerfen. Für die letztere Ansicht entscheidet der Umstand, daſs sie der leichten Construction ungeachtet wenig oder überhaupt kaum in Gebrauch gekommen sind, was jedoch wohl hauptsächlich darin seinen Grund haben mag, daſs der gewöhnlichen Ansicht nach der Mühlstein unmittelbar durch den Cylinder umgetrieben werden soll, und da jener nothwendig eine beträchtliche Geschwindigkeit haben muſs, so wird hierdurch eine zu schnelle Bewegung der Maschine nothwendig, wodurch der Factor $v - w$ zu klein wird, indem für $v = w$ das Kraftmoment $Q = 0$ werden würde. Euler gelangt indeſs zu dem Resultate, daſs der Effect dieser Maschine bei gleicher Menge und Fallhöhe des Wassers viermal so groſs ist, als eines jeden andern Wasserrads, nach Ewart[1] aber ist derselbe zwar gröſser als bei unterschlächtigen Rädern, aber kleiner als bei gut gebauten oberschlächtigen[2]. Wenn man berücksichtigt, daſs bei der Segner'schen Mühle das ganze Gefälle von seinem höchsten Puncte bis nahe über das Stauwasser benutzt werden kann und kaum irgend ein Verlust an nutzlos abflieſsendem Wasser statt findet, was auf jeden Fall bei unterschlächtigen ganz unvermeidlich ist, da sowohl an den Seiten des Rads, als auch unter denselben einiger Zwischenraum gar nicht fehlen darf, daſs endlich diese Maschine weit leichter gebaut werden kann, als die nothwendig sehr schweren Mühlräder (wobei jedoch das Gewicht des ganzen zu tragenden Wassercylinders Berücksichtigung verdient), so fällt alles dieses zum Vortheil derselben aus, weswegen eine nähere Prüfung durch genaue Versuche allerdings wünschenswerth seyn würde.

M.

---

1 Philos. Magaz. and Ann. cet. T. III. p. 416.

2 Vergl. Langsdorf Handbuch der Maschinenlehre. Th. I. S. 171. Gregory Mechanics. 3d ed. 1815. T. II. p. 112. Eine etwas veränderte Maschine dieser Art beschreibt Mathon de la Cour in Rozier's Journ. de phys. 1775. Aug.

Radius vector.

Radius vector; Rayon vecteur; *Radius vector*.

Die gerade Linie, die von der Sonne gegen den in seiner Bahn fortgehenden Planeten gezogen wird und die daher selbst als einen Umlauf um die Sonne vollendend angesehn wird, heiſst der *Radius vector*. Die Länge desselben giebt also in jeder Stellung des Planeten den Abstand des Planeten von der Sonne an. In Beziehung auf die Geschwindigkeit, mit welcher sich die Planeten in ihren Bahnen fortbewegen, bezieht man sich auf diesen Radius vector, indem die zwischen zwei solchen von der Sonne aus bis an die Planetenbahn gezogenen Radien eingeschlossenen und von der Planetenbahn begrenzten Flächen gleich sind für Zwischenräume der Bahn, die der Planet in gleichen Zeiten durchläuft.

B.

Ramme.

Fistuca; Sonnette; *Pile-Engine*.

Man nennt Ramme eine jede Maschine, vermittelst deren Steine, Pfähle oder Röhren in die Erde eingeschlagen werden. Es giebt hauptsächlich zwei Arten, *Handrammen* und *Ramm-Maschinen*. Zu den erstern gehören die hölzernen Cylinder von 3 bis 4 Fuſs Höhe, etwa 8 bis 10 Zoll Durchmesser am untern Ende, oben etwas verjüngt, an beiden oder mindestens am untern Ende mit einem eisernen Ringe versehn und oben mit einem durchgesteckten Stabe, dessen beide Enden als Handhaben dienen. Sie werden gebraucht, um beim Pflastern der Straſsen die Steine fester in den Pflastersand einzutreiben, indem ein Arbeiter sie an den Handhaben etwa einen Fuſs hoch hebt und dann mit Gewalt herabstöſst. Ihnen ähnlich sind die Handrammen, vermittelst deren kürzere und dünnere Pfähle zu geringen Tiefen eingetrieben werden. Sie bestehn aus vier- oder mehrkantigen, auch runden hölzernen Stämmen, etwa 3 Fuſs hoch und 1 bis 1,5 Fuſs im Durchmesser, unten mit einem starken eisernen Ringe umgeben, oben mit mehrern, meistens bogenförmig gekrümmten Handhaben versehn, um von den Arbeitern gehoben und auf die Pfähle herabgestoſsen zu werden.

Digitized by Google

Die gröſsern Rammen oder Rammmaschinen bestehn dem Wesen nach aus einem schwerern Klotze, welcher vermittelst eines Seils über einer Rolle gehoben wird, um dann auf den vertical stehenden Pfahl herabzufallen und letztern in die Erde einzutreiben. Bei minderer Wichtigkeit des aufzuführenden Baues, oder wenn der Widerstand des Pfahls gegen die von ihm zu tragende Last nicht so bedeutend verlangt wird, kann es genügen, drei Tragbäume an ihrem obern Ende zu einer Pyramide zusammenzubinden, die Rolle in der Spitze aufzuhängen und das Seil darüber zu ziehn, allein in der Regel wird das kostbare *Pilottiren* (das Einschlagen von Pfählen) nur bei groſsen und schweren Gebäuden oder bei Wasserbauten angewandt, indem man sich sonst mit dem Einbringen groſser und schwerer Steine oder dem Legen eines hölzernen Rostes bei nicht hinlänglich festem Grunde, so genanntem gewachsenen Boden, einer harten Thonschicht oder eines Steinlagers begnügt. Es ist dann im Ganzen auch vortheilhafter, von Anfang an ein dauerhaftes Gerüst aufzuführen, weil sonst der Zeitverlust und häufige Reparaturen unvermeidliche Kosten herbeiführen. Solche Gerüste sind nach den Umständen verschieden gebaut, bestehn aber im Allgemeinen aus folgenden wesentlichen Stücken. Die ganze Maschine ruht auf einem festen Schwellwerk ABC, welches mit eisernen Klammern hinlänglich verwahrt ist und fünf zu einer vierkantigen Pyramide vereinigte Balken trägt. Fig. 221. Zwei dieser Träger stehn fast genau lothrecht, und haben in ihrer Mitte denjenigen Balken (die Laufruthe), an welchem der Rammklotz auf- und abgleitet, und woran letzterer so befestigt ist, daſs er sich zwar frei in verticaler Richtung bewegen, ihn jedoch nicht verlassen kann, wozu umschlingende Arme oder Zapfen in einer Nuth oder sonstige geeignete Vorrichtungen dienen. Oben befindet sich die eine Rolle, die *Rammscheibe*, oder es sind bei einem gröſsern Rammgerüste deren zwei angebracht, über die das Rammtau so geschlungen ist, wie die Zeichnung dieses ausdrückt.

Der *Rammklotz* D, auch *Rammbär* oder schlechtweg *Bär*, im Oesterreichischen *Hoyer*, genannt (mouton, billot; *ram*), besteht aus einem massiven hölzernen Blocke bis 5 Fuſs lang und 1,5 Fuſs im Durchmesser, welcher zu gröſserer Stärke noch mit drei starken eisernen Bändern umgeben und oben mit

einem dicken eisernen eingeschraubten Ringe versehn wird; dennoch aber ist die Gewalt des Aufschlagens so groſs, daſs derselbe, obwohl von gesundem Eichenholze und durch Bänder von 2 Zoll Breite und fast 0,5 Zoll Dicke gesichert, bei längerem Gebrauche zerspaltet. Für gröſsere Arbeiten ist es daher am besten, einen guſseisernen Rammklotz zu wählen, dessen Gewicht nicht kleiner als 500 und nicht gröſser als 2000 ℔ zu seyn pflegt. Ist der Pfahl bereits so tief eingetrieben, daſs der Rammklotz ihn nicht mehr bequem treffen kann, so wird über ihn ein unten mit einer eisernen Spitze versehener Balken, der *Rammknecht*, gestellt und die Stöſse pflanzen sich durch diesen zum eigentlichen Pfahle fort.

Der hauptsächlichste Unterschied der verschiedenen Rammmaschinen besteht in der Art, wie der Rammklotz gehoben wird. Bei den kleinern Maschinen, den *Lauframmen, Handzugrammen*, geschieht dieses durch Arbeiter, welche an den in der Zeichnung sichtbaren, an das Hauptseil geknüpften, unten mit kurzen, als Handhaben dienenden Stäben versehnen Seilen ziehn. Das Aufziehn des Rammklotzes geschieht mit Schnelligkeit, so daſs er noch einige Zolle höher fliegt, als er gezogen wird, und das Hauptseil bei seinem beginnenden Falle bereits völlig wieder erschlafft ist. Hierdurch fällt er theils aus gröſserer Höhe herab, theils wird er weniger durch das wieder herabzuziehende Seil am schnellern Fallen gehindert. Dieses Aufziehn muſs in einem gewissen Tacte geschehn, es folgen mehrere Züge, meistens 25 ohne Unterbrechung, die man eine *Hitze* nennt; hierdurch werden die Arbeiter über das mittlere Maſs ihrer Kräfte angestrengt, müssen daher in vielen Pausen ausruhn, und ihre nutzbare Kraft ist daher geringer als bei andern Arbeiten[1]. Ausführlich ist dieses durch F. J. v. Gerstner[2] gezeigt worden, welcher die von ihm für die Kraftäuſserung eines Arbeiters gegebene allgemeine Formel auch auf dieses Problem anwendet[3]. Hiernach ist nämlich die Kraftäuſserung eines Arbeiters

---

1 Vergl. Art. *Kraft*. Bd. V. S. 988.

2 Handbuch der Mechanik. Th. III. Prag 1833. S. 141.

3 Ebend. Th. I. Prag 1831. S. 13 ff. Dieses Werk war zur Zeit der Bearbeitung des Art. *Kraft* noch nicht erschienen und es kann also das hier kurz Gesagte als ein Nachtrag zu jenem angesehn werden.

$$K = k \left(2 - \frac{v}{c}\right) \left(2 - \frac{z}{t}\right),$$

worin k die *mittlere Kraft* eines Menſchen, v die mittlere Geſchwindigkeit, die zu 2,5 Fuſs in einer Secunde angenommen wird, c die wirklich angewandte, z die mittlere zu 8 Stunden feſtgeſetzte und t die wirkliche Arbeitszeit bezeichnen. In dieſer Formel können k, v und z verſchiedene, die Grenzen der mittlern nicht allzuſehr überſteigende Werthe erhalten, die ſich einander dann gegenſeitig ſo bedingen, daſs die gefundene Gröſse K mit den Ergebniſſen der Erfahrung ſehr gut übereinſtimmt[1]. Iſt daher die Geſchwindigkeit und die Zeitdauer gegeben, ſo läſst ſich diejenige Kraft finden, welche ein Menſch zur Wältigung einer beſtimmten Laſt anwenden müſste, und wenn die letztere beſtimmt iſt, ſo ergiebt ſich die erforderliche Zeit oder die Geſchwindigkeit, da die zu hebende Laſt der anzuwendenden Kraft gleich ſeyn muſs. Wird dieſes auf die Arbeit des Rammens angewandt, ſo nimmt v. Gerstner bei den gewöhnlichen Handrammen den Widerſtands-Coefficienten $= \frac{7}{61}$ an, ſetzt den Verluſt durch den ſchiefen Zug an den Seilen $= \frac{1}{7}$ und die Dauer des Zugs = 1 Secunde, ſo daſs deren alſo 3600 auf eine Stunde kommen. Dieſe Gröſsen ſubſtituirt erhält man für 12 Arbeiter, einen 400 ℔ ſchweren Rammklotz und 3,5 Fuſs Hubhöhe die Gleichung

$$12 \times \tfrac{6}{7} \times 25 \left(2 - \frac{3{,}5}{2{,}5}\right) \left(2 - \frac{z}{8}\right) = 400 \left(1 + \tfrac{7}{61}\right),$$

woraus z = — 7 folgt, ſo daſs alſo eine Kraftanſtrengung von 25 ℔ hierzu gar nicht ausreicht. Wollte man dagegen z = 8 annehmen und das unbekannte k finden, ſo wäre aus

$$12 \times \tfrac{6}{7} \times k \left(2 - \frac{3{,}5}{2{,}5}\right) = 443{,}75$$

Einen wichtigen Beitrag hierzu liefert ferner Coriolis in Calcul de l'effet des Machines. Par. 1829. 4. p. 253.

1 Der Mangel geometriſcher Schärfe und Allgemeinheit dieſes Ausdrucks fällt bald in die Augen. Iſt nämlich v = 2c, da namentlich bei Pferden ſo oft die doppelte Geſchwindigkeit in Anwendung kommt, ſo wird K = o, was gegen die Erfahrung ſtreitet. Man könnte hierbei ſagen, daſs die doppelte Geſchwindigkeit die Hälfte der Arbeitszeit bedinge, aber auch dieſes iſt nicht in ganzer Strenge richtig.

Digitized by Google

$k = 71,9$ ℔, eine Kraft, welche kein Arbeiter leisten kann. Man gebraucht daher zum Ziehen der Rammseile nur starke Arbeiter, bei denen $k = 30$ und $v = \frac{10}{3}$ angenommen wird, wonach aus

$$12 \times \tfrac{5}{7} \times 30 \left(2 - \frac{3,5}{\frac{10}{3}}\right) \left(2 - \frac{z}{8}\right) = 443,75$$

die Zeit $z = 3,9$ Stunden folgt, welches mit Coulomb's Erfahrung sehr genau übereinstimmt, wonach die Arbeiter beim Ziehen der Rammen nur halb so viel leisten, als bei andern Maschinen. Wird die Zeit $z = 3,9$ Stunden und die Höhe des Hubes $= 3,5$ Fuſs angenommen, so ist $3,9 \times 3600 \times 3,5 = 49140$ die ganze Höhe, auf welche der 400 ℔ schwere Rammklotz durch 12 Arbeiter in einem Tage gehoben wird, also $M = \frac{49140 \times 400}{12} = 1'638000$ ℔ das Bewegungsmoment eines ungewöhnlich starken Arbeiters in einem Tage, statt daſs es für diese nach der angenommenen Zeit und Geschwindigkeit

$$M = 3600 \times 8 \times \tfrac{10}{3} \times 30 = 2'880000$$

und für gewöhnliche Arbeiter

$$M = 3600 \times 8 \times 2,5 \times 25 = 1'800000$$

seyn müſste. Für schwerere Rammklötze und mehr Arbeiter, die daher einen gröſsern Flächenraum einnehmen, fällt das Resultat noch schlechter aus. Läſst man jedoch die Arbeiter abwechseln, so kann auf diese Weise die schnellste Förderung der Sache erreicht werden, weil durch keine der anderweitig angewandten Vorrichtungen eine so schnelle Bewegung des Rammklotzes erfolgt. Da jedoch auch für diesen Zweck, auſser der Kraft der Menschen, die Anwendung jeder andern zu Gebote steht, namentlich die der Pferde, des Wassers und des Dampfs, die einer willkürlichen Steigerung fähig sind, so unterliegt es keinem Zweifel, daſs mit Rücksicht auf die örtlichen Verhältnisse dem Rammklotze eine gleich schnelle und obendrein eine minder lange unterbrochene Bewegung ertheilt werden könnte, wenn nicht die anderweitigen, bei dieser Operation gleichfalls zu berücksichtigenden Bedingungen die Anwendung künstlicher Maschinen hinderten und die Hydrotecten auf die bisher üblichen einfachen beschränkten. Hierauf beruhn die Verschiedenheiten in der Construction der Ram-

Digitized by Google

men. Die eine derselben, eine sehr gewöhnliche, ist in der Figur ausgedrückt. Das Rammtau wird um die Walze K gewunden und diese vermittelst der beiden Haspel N, N um ihre Axe gedreht, statt deren man auch geeignete Kurbeln anbringen könnte. Bei dieser und ähnlichen Constructionen wird der Ring des Rammklotzes unten durch eine Zange ergriffen, die so eingerichtet ist, daſs sie sich oben von selbst öffnet und den Rammbär herabfallen läſst. Ein sehr bekannt gewordener Mechanismus ist derjenige, welchen Voloué angegeben hat[1] und wovon beim Einrammen der Pfähle für die Westminsterbrücke in London Gebrauch gemacht wurde. Dieser besteht im Wesentlichen aus einer horizontalen, durch Pferde bewegten Trommel, um welche das Rammtau gewunden wurde. Eine Beschreibung sonstiger in Vorschlag gebrachter Vorrichtungen[2] liegt zu sehr auſser den Grenzen dieses Werks. Die Vorrichtungen dieser Art nennt man *Kunstrammen*, *Maschinenschlagwerke*.

Bei den ältern Rammmaschinen mit schweren Rammklötzen benutzte man die Kraft der Pferde, weil sie wohlfeiler ist als die der Menschen. Inzwischen sind solche groſse Maschinen schwer zu transportiren, erfordern einen groſsen, nicht allezeit bequem zu erhaltenden Raum, und auſserdem müssen die Pfähle beschlagen werden, wenn sie den Schlägen der bis zu 1500 ℔ und darüber schweren Rammklötze widerstehn sollen. Man wandte daher allgemein und namentlich in Frankreich ohne Ausnahme die durch Menschen gehobenen Rammklötze (bei der *Sonnette à tiraude*) von 300 bis 400 Kilogrammen Gewicht an[3]. Inzwischen gab Vauvilliers den Rammmaschinen mit der Zange (*Sonnette à déclic*) eine Einrichtung, welche entschiedene Vorzüge hat, indem sie einfach ist,

---

1 Belidor Architect. hydraul. T. I. P. II. p. 107. Vergl. J. Ferguson Lectures on select subjets. Lond. 1790. p. 93. Th. Young Lectures cet. T. I. p. 225.

2 Aeltere sind von Lahire in Mém. de l'Ac. 1707. p. 188; von Camus Ebend. 1713. u. Mach. App. T. III. p. 3.; von Vergier in Mach. App. T. III. p. 189.; von Martin in Mém. de l'Ac. 1742. Hist. p. 156.; von l'Herbette Ebend. 1759. p. 236. Die vollständigste Kenntniſs giebt Eytelwein's praktische Anweisung zur Wasserbaukunst. Berlin 1809. Heft. I. S. 26 ff.

3 Scanzin Cours de Construction, à l'usage de l'École polytechnique. Année 1809. p. 174.

Digitized by Google

groſse Geschwindigkeit zuläſst, für Menschen und Pferde eingerichtet werden kann, den Rammklotz zu sehr ungleichen Höhen zu heben gestattet und genauen Berechnungen gemäſs das Einrammen der Pfähle unter gleichen Bedingungen mit nur ungefähr dem fünften Theile der Kosten bewirkt. Der Rammbär wiegt bei dieser Maschine nicht mehr als gleichfalls 300 bis 400 Kilogramme, ist von Holz, mit eisernen Bändern beschlagen, ohne Ring, welcher das Seil leicht zerscheuert, indem dieses vielmehr auf die aus der Figur ersichtliche Weise um ihn geschlungen wird, und gleitet durch die Arme A, A′ regulirt zwischen den beiden Balken NQ, die hierbei die sogenannte *Lauſruthe* bilden. Das andere Ende des Rammtaues wird um eine dicke Walze gewunden, welche um die Zapfen AB leicht beweglich umläuft. Ihre Umdrehung geschieht vermittelst des gezahnten Rads CD durch das Getriebe P, welches auf der vierkantigen Stange NN′ verschiebbar ist. Man sieht ohne weitere Erläuterung, daſs letztere mit den runden Theilen in den Lagern qq′ ruhend durch die Kurbeln MM′ umgedreht wird, jedoch kann diese Umdrehung auch leicht durch Pferde vermittelst eines Rads geschehn. Der um den Zapfen O bewegliche Hebel Qr hat an seinem kürzern Ende r einen Ring, in welchem sich ein Kranz am Getriebe P frei umdreht. Ist der Rammbär zur erforderlichen Höhe gehoben, so wird der Hebelarm Q zur Seite gedrückt und der andere Arm r schiebt das Getriebe P aus den Zähnen des Rads, weshalb die Trommel D zurückschnellt und der Rammklotz herabfällt; schiebt man demnach den längern Hebelarm wieder bis gegen den Anhaltpunct L, so hat das Getriebe wieder gefaſst und das Rad bewegt sich wie zuvor. Um endlich das Rad, wenn es nöthig ist, festzustellen, schiebt man den Nagel xy zwischen die Speichen desselben [1].

Fig. 222.

Fig. 223.

Noch vorzüglicher scheint mir diejenige Construction der Kunstramme, welche durch den Wasserbaudirector Brequem in Wien erfunden, von diesem bei den Bauten an der Donau unter Kaiser Joseph angewandt und später durch Franz Joseph und Franz Anton v. Gerstner bei wiederholter praktischer Anwendung als sehr brauchbar befunden wur-

1 Hachette Traité élém. des Machines p. 413.

Digitized by Google

de[1]. Sie gewährt nicht bloſs den Vortheil der unausgesetzten und schnellern Arbeit, sondern auch die leichte Anwendung der Pferde statt der Menschen, den Gebrauch sehr schwerer Rammbären und die Möglichkeit, der Laufruthe eine gegen den Horizont geneigte Richtung zu geben, um Pfähle in schieſer Richtung einzurammen. Mit Uebergehung einer Beschreibung des Schwellwerks will ich nur bemerken, daſs die Laufruthe JT auf dem Schieber JM befestigt ist, durch dessen Fig. 224. Verschieben und Feststellen vermittelst eines Nagels sie in dem Balken U verschiebbar in eine schräge Lage gebracht werden kann. Das Rammtau ist an die Zange W geknüpft, läuft dann über das Rad E′ und von da herabwärts über ein zweites etwas schräg gerichtetes E zur Trommel lm, welche aus zwei parallelen Scheiben mit zwischengesteckten Stäben besteht. Die Trommel ruht mit einer zweiten untern Scheibe oo auf dem verticalen Tummelbaume K, welcher unten auf einem eisernen Zapfen ruht und oben eine im Querbalken P′ Q′ drehbare Spindel trägt, die zugleich mitten durch die Scheiben der Trommel gesteckt ist. Durch den Tummelbaum sind 12 oder mehr hinlänglich starke und zu gröſserer Festigkeit in ihrer Mitte durch Querhölzer gesteiſte Handhaben n, n′ gesteckt, an deren äuſsern abgerundeten Enden die erforderlichen Arbeiter die Umdrehung bewirken. Bei der in Wien gebrauchten Maschine waren diese Stangen mit Federn versehn, die zur Controle der Arbeiter mit 25 oder 30 ℔ Kraft gedrückt werden muſsten, wenn nicht der folgende Arbeiter dem Vordermann auf die Fersen treten sollte; es waren meistens 18 bis 24 Arbeiter angestellt, und das Gewicht des Rammbären konnte daher 16 bis 20 Centner betragen. Der Rammbär kann bis zu beliebiger Höhe gehoben werden, auf welcher die Zange sich von selbst öffnet und ihn frei an dem Laufbalken herabgleiten läſst. Sobald dieses geschieht, hebt ein Arbeiter den Arm q des in s beweglichen Hebels, welcher durch die Feder unterhalb r stets herabgedrückt wird, der andere Arm zieht den Riegel rp herab, welcher in eins der acht Löcher in der Scheibe oo faſst und die Trommel nöthigt, gleich-

1 v. Gerstner Handbuch der Mechanik u. s. w. Th. III. Prag 1832. S. 129. Dort findet man zugleich eine ausführliche Beschreibung der verschiedenen Rammen.

zeitig mit dem Tummelbaume umzulaufen. Im Augenblicke der Auslösung des Riegels läuft die Trommel frei um die eiserne Spindel, indem das Rammtau durch die Zange und den Halter derselben W herabgezogen wird, worauf die Zange den Rammbär wieder faſst und das Aufziehn desselben abermals beginnt. Damit jedoch das Umlaufen der Trommel nicht zu schnell geschehe, drückt ein anderer Arbeiter den Arm t des in u beweglichen Hebels nieder, damit der andere Arm desselben v gegen die Scheibe drücke und diese bremse. Es ergiebt sich leicht, daſs der Tummelbaum K auch durch Pferde umgedreht werden kann. In diesem von den Erfindern der Maschine nicht eigens erwähnten Falle wäre erforderlich, unten am Tummelbaume noch einen Hebel anzubringen, um denselben während des Falls des Rammbären und der Zange zu bremsen, damit die Pferde schneller gehn können, ohne Gefahr vornüber zu fallen, wenn die Last sich plötzlich vermindert.

Daſs die nach v. Gerstner in mehrern Fällen mit Nutzen anzuwendenden schwerern Rammbären am besten aus Guſseisen verfertigt werden, ist bereits erwähnt, und man ersieht aus der Zeichnung leicht die ganze Gestalt derselben. (Fig. 225.) Auch die Zange und der bei ihr vorhandene Mechanismus wird auf diese Weise leicht erkannt. (Fig. 226.) Ein massiver Klotz X ist so eingerichtet, daſs er gleichfalls an der Laufruthe leicht herabgleitet und vermittelst des an einem Ringe befestigten Rammtaues aufgezogen wird. Auf ihm sind die beiden Stücke der Zange befestigt, deren untere Arme lothrecht herabhängen und sich dadurch von selbst schlieſsen. Die obern gebogenen Arme dagegen werden zwischen den beiden, in der gehörigen Höhe angebrachten Balken-Enden U, V zusammengedrückt, öffnen dadurch die untere Zange, die demnächst beim Herabfallen sich von selbst wieder öffnet und den Halter des Rammbären ergreift, während das Rammtau zwischen den obern Armen stets frei herabhängt. Zum Ueberflusse möge noch bemerkt werden, daſs die im Balken RR′ sichtbaren Löcher dazu dienen, um Sprossen hindurch zu stecken, die sonach eine Leiter bilden, auf welcher man zur obern Rolle gelangen kann[1].

---

1 Aus der Praxis entnommene Angaben über die Leistungen der

Digitized by Google

Die wichtigste Aufgabe in Beziehung auf die Rammen ist die Auffindung der Wirkung, welche dieselben leisten[1], da vermittelst derselben die Pfähle so fest eingerammt werden müssen, daſs sie die über ihnen aufgehäufte Last ohne herabzusinken zu tragen vermögen. Im Allgemeinen kommen hierbei zwei Fälle in Betrachtung. Zuerst kann nämlich der Fall statt finden, daſs in einer gewissen Tiefe, bis zu welcher man jedoch nicht graben will oder wegen örtlicher Hindernisse nicht graben kann, ein festes Stein- oder Thonlager vorhanden ist, bis auf welches die Pfähle eingetrieben werden müssen. In diesem Falle ist die Aufgabe sehr einfach, indem man das Schlagen so lange fortsetzt, bis der Pfahl diese bekannte Tiefe erreicht hat und also fest aufsitzt. Derselbe widersteht dann vermöge seiner rückwirkenden Festigkeit, die so groſs ist, daſs man ihn sicher mit jedem vorkommenden Gewichte belasten kann[2]. In andern Fällen widersteht der Pfahl der ihn drückenden Last durch die Reibung, die er in der Erde erleidet, und die Nothwendigkeit, den unter ihm befindlichen Erdboden beim tiefern Eindringen zur Seite zu drücken; er wird daher durch das Rammen stets tiefer herabgehn, bis die Schläge den Widerstand gar nicht mehr zu überwinden vermögen und er also nicht weiter sinkt, oder nur so wenig, daſs diese Gröſse eine ganz unbedeutende wird, wonach also seine Belastung in jenem Falle die Kraft des Rammklotzes nicht übersteigen, in diesem dagegen etwas unter derselben bleiben muſs. Es kommt diesemnach darauf an aufzufinden, wie groſs die Wirkung der Rammklötze bei gegebenem Gewichte und bekannter Fallhöhe derselben sey. Diese Gröſsen aufzufinden, giebt es hauptsächlich zwei Methoden.

A. Nach der ersten Methode betrachtet man den Ramm-

Rammmaschinen findet man in den Werken über Wasserbaukunst, z. B. Perronnet Description des projets et de la construction des ponts de Neuilly cet. avec suppl. III vol. fol. Wiebeking Beiträge zur Wasser-, Brücken- und Straſsenbaukunde u. s. w. München 1808 — 10. Dessen Beiträge zum practischen Wasserbau u. z. Maschinenlehre. Düsseldorf 1792. 4.

1 Ausführliche Untersuchungen hierüber findet man in Hutton's Tracts on mathemat. and philos. subjects. III vol. 8. Lond. 1812. T. III. p. 392.

2 Vergl. *Cohaesion* Bd. II. S. 161.

Digitized by Google

klotz und den Pfahl als ſtoſsende und geſtoſsene Körper, unterſucht die Kraft der Bewegung, welche ſie hierdurch erhalten, und dieſer iſt dann der Widerſtand direct proportional[1]. Der Rammklotz iſt ein fallender Körper, und erhält ſeine Geſchwindigkeit durch den freien Fall, welcher zwar durch das Nachziehn des Seils und die Reibung an der Laufruthe etwas gehindert wird, allein bei der obendrein geringen Fallhöhe kann dieſes Hinderniſs vernachläſsigt oder etwa der normale Fallraum etwas gering angenommen werden. Es iſt aber die Geſchwindigkeit eines frei aus der Höhe s fallenden Körpers $v = 2\sqrt{gs}$, wenn g den Fallraum in 1 Sexageſimalſecunde bezeichnet[2]. Mit dieſer Geſchwindigkeit ſtöſst der Rammbär gegen den als ruhend angenommenen Pfahl, und die dem letztern ertheilte Geſchwindigkeit kann alſo gefunden werden, wenn die Maſſe (das Gewicht) des Rammklotzes und des Pfahls bekannt ſind. Iſt die Maſſe des erſtern gleich P, des letztern = Q, ſo iſt für vollkommen harte Körper die Geſchwindigkeit des Pfahls nach dem Stoſse

$$v' = \frac{vP}{P+Q},$$

für elaſtiſche Körper aber, deren Elaſticität als vollkommen angenommen = 1, als unvollkommen aber = n iſt, wobei n allezeit kleiner als 1 ſeyn muſs, wird

$$v' = \frac{vP\,(1+n)}{P+Q} = \frac{2(1+n)P\sqrt{gs}}{P+Q},$$

mit welcher Geſchwindigkeit der Pfahl bis zur Tiefe = e in die Erde dringt, wobei dieſelbe durch den Widerſtand des Erdreichs aufgehoben wird. Allerdings iſt dieſer Widerſtand keine conſtante Gröſse, wächſt vielmehr mit der zunehmenden Tiefe, und man ſtellt daher die Berechnung nur erſt dann an, wenn e ſehr klein und in mehrern wiederholten Schlägen ſehr nahe gleich iſt, daher als conſtant gelten kann. Iſt R der

1 Dieſer Methode bedienen ſich die meiſten; unter andern handeln hierüber am ausführlichſten Woltmann über den Effect des Ramms zum Eintreiben der Pfähle. Gött. 1804. Eytelwein practiſche Anweiſung zur Waſſerbaukunſt. Berl. 1809. Aus ihnen Brix Elementar-Lehrbuch d. dynamiſchen Wiſſenſchaften. Berlin 1831. Th. III, S. 167.

2 Vergl. *Fall.* Bd. IV. S. 6.

Widerstand, so ist R — Q die Ueberwucht, welche die Anfangsgeschwindigkeit v′ des Pfahls am Ende des Wegs vernichtet, und die zugehörige beschleunigte Geschwindigkeit ist

$$g.\frac{R-Q}{Q}.$$ Hiernach erhält man

$$v' = 2\sqrt{g.\frac{R-Q}{Q}.e}$$

und hieraus $R - Q = \frac{v'^2 Q}{4g.e}$,

worin der Werth von v′ substituirt

$$R - Q = \frac{v^2}{4g}.\frac{P^2 Q(1+n)^2}{e(P+Q)^2},$$

und da $\frac{v^2}{4g} = s$ ist, dieses substituirt

$$R - Q = \frac{sP^2 Q(1+n)^2}{e(P+Q)^2}$$

zur Auffindung der Last dient, womit der Pfahl auſser ſeinem eignen Gewichte noch belastet werden kann, ohne tiefer einzusinken, was man seine theoretisch bestimmte Tragkraft nennen kann. Bezeichnet man diese durch T, so ist offenbar $T = R - Q$, also

$$T = \frac{sP^2 Q(1+n)^2}{e(P+Q)^2}.$$

Hierin wird T um soviel gröſser, je vollkommener die Elasticität der stoſsenden Körper ist, in welchem Falle $n = 1$ seyn würde. Die meisten Hydrotecten, namentlich Woltmann und Eytelwein, nehmen an, die stoſsenden Körper seyen vollkommen hart, und in diesem Falle wäre

$$T = \frac{sP^2 Q}{e(P+Q)^2} \;\ldots\ldots\; \text{I)}$$

als der kleinste Werth, welchen die Tragkraft der Pfähle erreicht. Inzwischen gesteht doch Eytelwein zu, daſs einige Elasticität der stoſsenden Körper beim Rammen anzunehmen sey, und Brix bemerkt, man sehe deutlich während der letzten Hitzen den aufschlagenden Rammklotz wieder in die Höhe springen. Wollte man hiernach die Elasticität als vollkommen annehmen, so würde $n = 1$, also $(1+n)^2 = 4$, und der erhaltene Werth müſste sonach mit 4 multiplicirt werden. Der

Sicherheit wegen wendet man jedoch in der Praxis bloſs die angenommene Formel an.

Es kommen dann aber noch zwei Fragen in Betrachtung, nämlich zuerst, wie klein muſs e werden, oder wie tief darf der Pfahl bei den letzten Schlägen noch einsinken, und zweitens wie darf sich die wirkliche Belastung zu der theoretisch gefundenen verhalten, wenn man mit Sicherheit über einem pilottirten Roste bauen will. Läſst man die letzte Frage einstweilen unbeantwortet, indem man allgemein $\frac{1}{m}$ der theoretisch gefundenen Tragkraft als praktisch anwendbar betrachtet, so wird die wirkliche Belastung

$$T' = \frac{s P^2 Q}{m . e (P + Q)^2}$$

und hieraus $e = \frac{s P^2 Q}{m T' (P + Q)^2}$.

Die Bestimmung von e finde ich verschieden, zu 6, 5, 3 und auch wohl 2 Zoll Senkung bei der letzten Hitze von 25 Schlägen, wonach also $e = \frac{6}{25}$ bis $\frac{2}{25}$ Zoll werden würde. V. Langsdorf[1] bemerkt, daſs die Pfähle wegen der Elasticität des Bodens zuweilen nach dem Schlage wieder emporgedrückt werden und es daher den Anschein habe, als ob der Werth von e viel kleiner sey, wenn nämlich das Einsinken noch 1 Lin. betrage, der Pfahl aber 0,75 Lin. wieder steige, und daher nur 0,25 Lin. eingedrungen sey, wonach also T' um das Vierfache zu groſs gefunden würde. Diesemnach soll das Rammen so lange fortgesetzt werden, bis der Pfahl durch die letzten 30 Schläge nur noch 2 bis 3 Lin. sinkt, und dann könne man $e = \frac{1}{48}$ annehmen. Inzwischen ist die Gröſse von 2 und selbst von 3 Linien so gering, daſs sie beim wirklichen Rammen nicht füglich gemessen werden kann, insbesondere bei starken Pfählen; denn wenn das Einrammen nicht ins Wasser geschieht, so wird der den Pfahl umgebende Boden durch die heftigen Schläge und die sie begleitende Erschütterung stets etwas aufgelockert und gewährt keine für so feine Messungen hinlänglich ebene Fläche, der Pfahl selbst aber

---

1 Ausführliches System der Maschinenkunde u. s. w. Heidelb. 1826. 4. Th. I. S. 112.

Digitized by Google

wird an seinem obern Theile leicht etwas zusammengedrückt, zuweilen auch rauh und dadurch für eine solche Messung zu wenig eben, so daſs er bei völligem Stillstande dennoch etwas gesunken zu seyn scheinen könnte. Soll daher der Werth von e überhaupt mit in Rechnung kommen, so scheint es am besten, hierfür 2 bis 3 Zoll in der letzten Hitze von 25 Schlägen als Regel anzunehmen, und dann dahin zu sehn, daſs es nicht zu groſs durch die vorgenommene Messung bestimmt werde. Es versteht sich von selbst, daſs, wenn man dasselbe $= 0$ annehmen und so in die Formel einführen wollte, wonach also $T = \infty$ werden müſste, dieses zu einem ganz falschen Resultate führen würde, da die Tragkraft eines solchen Pfahls auf jeden Fall nicht unendlich werden kann; allein dieses liegt auch nicht im Sinne der Formel, insofern eine unendliche Belastung überhaupt undenkbar ist, der analytische Ausdruck aber nur den Widerstand angiebt, welchen der Pfahl einer endlichen Belastung entgegensetzt, und dieser ist wirklich unendlich groſs, d. h. der Pfahl sinkt gar nicht, so lange die Belastung diejenige Gröſse nicht übersteigt, welcher derselbe beim Rammen bereits widerstanden hat.

In Beziehung auf die zweite Frage, nämlich den wievielsten Theil der theoretisch gefundenen Belastung man dem Pfahle wirklich mit Sicherheit anvertraun dürfe, glaube ich nicht zu irren, daſs die letztere nicht bloſs gleich groſs, sondern selbst noch gröſser seyn könne, als die erstere, sobald der Pfahl zum Stillstande gebracht worden ist, oder während der letzten Hitze von 25 Schlägen nicht tiefer als einen Zoll sinkt, wovon ohnehin der gröſste Theil auf die ersten Schläge und ein geringer auf das Zusammendrücken des Pfahlkopfs kommt Die Belastung geschieht nämlich nicht sogleich nach Beendigung des Rammens mit der ganzen Last, sondern allmälig; unterdeſs legt sich das Erdreich fester an den Pfahl an und er wird zunehmend unbeweglicher, ebenso wie es bei einem Wagen, einer Schleife, einer Schraube und überall, wo die Reibung zu überwinden ist, nach einigem Stillstande einer weit gröſsern Kraft bedarf, um die Bewegung wieder anzufangen, als diejenige war, welche vorher angewandt wurde. Wenn daher v. Langsdorf behauptet, die Erfahrung ergebe, daſs Gebäude, deren Fundament anfangs hinlänglich widerstand, dennoch nach Jahren sich senkten, so kann es sehr

wohl seyn, daſs entweder die Tragkraft aus einer unrichtigen Bestimmung des Rammklotzgewichts und der Fallhöhe falsch berechnet wurde, oder daſs anderweitige Ursachen das Erdreich allmälig erweichten. Gegen das Letztere ist kein Mittel aufzufinden, im Allgemeinen aber giebt Woltmann die Regel, daſs man in gewöhnlichen Fällen die Hälfte oder den dritten Theil, bei sehr wichtigen Gebäuden, als Brücken, Leuchtthürmen u. s. w., nur den zehnten oder selbst zwanzigsten Theil der theoretisch bestimmten Belastung anwenden solle, nach Eytelwein soll dieses nur im Allgemeinen der vierte, nach v. Langsdorf nur der zwölfte Theil seyn, was jedoch, wenn richtig gerechnet worden und der Pfahl während der letzten Hitze von 30 Schlägen wirklich nur 2 bis 3 Linien gesunken ist, hierfür aber e nur $\frac{1}{48}$ Fuſs statt $\frac{1}{10.48}$ Fuſs angenommen wird, zu einer übergroſsen und kostspieligen Vorsicht führen würde. Nach Manger[1] widerstanden die bei Potsdam eingeschlagenen Pfähle 20 Jahre einer Last von 270 Centn., ohne nachzugeben, und dennoch waren sie bei einem Gewichte von 10 Centn., einem Rammklotze von gleichem Gewichte und einer Fallhöhe von 5 Fuſs während der letzten Hitze von 25 Schlägen noch 5 Zoll eingetrieben worden, wonach also

$$T = \frac{60 \times 40^2 \times 10}{\frac{1}{5} \times (10+10)^2} = 750 \text{ Centn.},$$

also nur das 2,5 fache der Belastung beträgt. Nach dieser und andern Erfahrungen nimmt daher Brix an, daſs in Uebereinstimmung mit Eytelwein für gewöhnliche Bauten der vierte und für besonders wichtige der sechste Theil der theoretisch bestimmten Tragkraft mit Sicherheit als Belastung genommen werden könne. Hiernach wäre also $m = 4$ oder $= 6$, und man erhält

$$T' = \frac{s P^2 Q}{4 e (P+Q)^2} \text{ oder } T'' = \frac{s P^2 Q}{6 e (P+Q)^2} \ldots\ldots \text{II)}$$

Die Gröſse e wird nach der bisherigen Bestimmung gefunden, nachdem eine gewisse Anzahl von Schlägen beendigt ist. Heiſst letztere n und wird $n e = E$ genommen, so ist

$$E = \frac{n s P^2 Q}{m T (P+Q)^2} \ldots\ldots\ldots \text{III)}$$

1 Beiträge zur practischen Baukunst. Potsd. 1786. S. 231.

Digitized by Google

der Effect des Rammklotzes, welcher auch bei verschiedenen und unter ungleichen Bedingungen wirkenden Maschinen verglichen werden kann.

Ohne das Problem des Rammens weiter im Einzelnen zu verfolgen, will ich bloſs im Allgemeinen bemerken, daſs nach den theoretischen Untersuchungen von Lambert[1] der Effect der Rammmaschine am gröſsten ist, wenn die Gewichte des Pfahls und des Rammbären einander gleich sind, nach Woltmann und Eytelwein dagegen soll der letztere so schwer seyn, als die übrigen Umstände zulassen, was aus anderweitigen Gründen wohl als richtig anzusehn ist. Ferner geht aus der Formel hervor, daſs die Gewalt des Rammbären der Fallhöhe direct proportional ist, weswegen bei groſsen Bauten die Kunstramme auſser den bereits erwähnten Gründen den Vorzug hat. Ferner rechnet man meistens auf 1 Centn. des Rammklotz-Gewichts 3 Arbeiter oder auf 3 Centn. 10 Arbeiter, jedoch müssen diese in beiden Fällen über das gewöhnliche Mittel stark seyn; denn im ersten Falle beträgt der Kraftaufwand k eines jeden 33,3, im zweiten 30 ℔, und wenn man nach v. Gerstner's oben mitgetheilter Angabe für den schiefen Zug noch $\frac{1}{7}$ hinzusetzt, ohne den Widerstands-Coefficienten zu berücksichtigen, welcher im Gewichte des Rammbären schon enthalten seyn muſs, im ersten 38,1, im letzten 34,28 ℔. Es dürfte daher nach dem, was im erwähnten Art. *Kraft* mitgetheilt ist, auf jeden Fall vortheilhafter seyn, bei den Zugrammen auf 1 Centn. 4 Arbeiter zu rechnen, weil dann bei einem Werthe von k = 28,5 ℔ nicht bloſs eine längere Arbeitsdauer erhalten wird, sondern auch der Rammbär durch das stärkere Aufschnellen eine gröſsere Höhe erreicht. Muſs ein Rammknecht aufgesetzt werden, so ergiebt die Theorie, daſs dieser allezeit nachtheilig wirkt, und dieser Nachtheil wird ein Minimum, wenn sein Gewicht die mittlere geometrische Proportionalgröſse zwischen dem Gewichte des Pfahls und des Bären ausmacht. Eben dieses findet statt, wenn die Länge des ersten Pfahls nicht hinreicht und daher auch ein zweiter aufgesetzt werden muſs, wobei noch ein anderer Nachtheil aus dem Aufklammern des zweiten Pfahls erwächst, indem der obere durch seine, wenn auch geringe, Elasticität

1 Nouv. Mém. de l'Acad. de Berl. 1772. p. 33.

nach jedem Schlage etwas zurückschnellt und dadurch den untern aufwärts zieht.

B. Eine zweite Methode besteht darin, einen schweren Körper herabfallen zu lassen, dann zu untersuchen, wie tief er selbst eindringt, oder die Kraft zu messen, welche ein Körper von gegebenem Gewichte beim Falle aus einer bekannten Höhe gegen einen andern von ihm gestoſsenen ausübt. Macht man von Letzterem eine Anwendung auf die Rammklötze, so müſste das Schlagen mit ihnen so lange fortgesetzt werden, bis der Pfahl nicht mehr einsinkt, und die Kraft des Rammklotzes, in Pfunden ausgedrückt, gäbe dann den Widerstand des Pfahls oder die Last, welche er, ohne nachzugeben, zu tragen vermag. Versuche dieser Art sind verschiedentlich angestellt worden, die aber zur Entscheidung der Frage nicht genügen, z. B. von s'Gravesande[1] (welcher Kugeln und Kegel von verschiedenem Gewichte aus ungleichen Höhen in weichen Thon fallen lieſs) und von Lambert[2]; die Versuche von Mariotte und Rondelet erklärt Borgnis[3] selbst für ungenügend. Schätzbar sind dagegen die Versuche von Beaufoy[4] nicht bloſs im Allgemeinen, sondern auch zur Bestimmung der Kraft, mit welcher die Rammbären auf die Köpfe der Pfähle schlagen. Sein Apparat bestand aus einer verticalen Säule mit einem Maſsstabe und einer Vorrichtung, um Kugeln aus verschiedenen Höhen auf einen in Ringen frei schwebenden Cylinder herabfallen zu lassen, welcher mit seinem untern Ende auf einer Spiralfeder ruhte, die durch denselben herabgedrückt und an jedem tiefsten erreichten Puncte zurückgehalten wurde. Die herabfallenden Kugeln drückten also den Cylinder bis zu einer ihrem Gewichte und ihrer Fallhöhe proportionalen Tiefe herab, und nachdem die Feder wieder ausgelöst war, drückten aufgelegte Gewichte sie bis zu gleicher Tiefe wieder herab und gaben auf diese Weise die durch die fallenden Kugeln erzeugte Kraft.

Um die durch diese Versuche erhaltenen Resultate unter ein allgemeines Gesetz zu bringen, muſsten zuerst die Ge-

---

1 Physices elementa math. Leidae 1748. 4. T. I. p. 235 ff.

2 Beiträge zum Gebrauche d. Math. Berlin 1772. Th. III. S. 456.

3 Théorie de la mécanique usuelle p. 141.

4 Ann. of Philos. 1822. Sept. p. 165.

Digitized by Google

schwindigkeiten aus den Fallhöhen durch die bekannte Formel $v = 2\sqrt{gs}$ gefunden werden. Heiſsen die den verschiedenen Höhen zugehörigen Geschwindigkeiten dann v und v′, die Momente der durch die Kugeln erzeugten Kraft q und q′, der Exponent der Geschwindigkeiten aber m, so ist

$$q : q' = v^m : v'^m,$$

und da die Bewegungsmomente q und q′ durch die aufgelegten Gewichte bekannt waren, die Geschwindigkeiten aber aus den Fallhöhen leicht gefunden wurden, so war

$$m = \frac{\log. q - \log. q'}{\log. v - \log. v'}.$$

Die Versuche gaben für m die Werthe 1,9343; 2,0626 und 1,9817, also im Mittel 1,9929, welches von 2 so wenig abweicht, daſs man unbedenklich das Kraftmoment dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional setzen kann. Zur Auffindung einer constanten Gröſse ergaben ferner die Versuche im Mittel für 1 ℔ Gewicht der Kugeln und 5,6736 Fuſs Geschwindigkeit in 1 Secunde 15,145 ℔ Wirkung. Berechnet man hiernach den Effect der Rammklötze unter der Voraussetzung, daſs der Pfahl durch die Schläge derselben zuletzt nicht mehr bewegt wird, also seine theoretisch bestimmte Tragkraft der Gewalt der auf ihn stattgefundenen Schläge gleich gesetzt werden kann, so können die als Kraft und Last zugleich benutzten Pfunde Troy-Gewicht mit allen andern vertauscht werden, die in englischen Fuſs gefundene Geschwindigkeit beträgt aber 5,33 altpariser, wofür zu gröſserer Sicherheit 5,5 angenommen werden mögen, und es ist dann

$$T = 15{,}145 . \frac{M v^2}{5{,}5^2}.$$

Hierin kann bequem $4gs = v^2$ substituirt und $g = 15$ par. Fuſs angenommen werden, wodurch man sehr nahe

$$T = 30 Ms$$

erhält, d. h. die Tragkraft eines eingerammten Pfahls (unter den angenommenen Voraussetzungen) wird gefunden, wenn man das Product der Fallhöhe des Rammbären in par. Fuſs genommen in die Masse desselben mit 30 multiplicirt, wobei diese Masse = M und die Tragkraft = T ebensowohl in Pfunden als in Centnern genommen werden kann.

Der auf diese Weise gefundene Werth von T läſst sich

nicht genau mit dem nach der erstern Methode erhaltenen vergleichen, weil in ihr der Factor des Einsinkens und des Pfahlgewichts fehlt, indeſs darf man doch Folgendes als eine ungefähre Bestimmung betrachten. Beträgt das Gewicht des Rammklotzes 15 Centner und die Fallhöhe 5 Fuſs, so giebt die letzte Formel

$$T = 30 \times 15 \times 5 = 2250 \text{ Centner.}$$

Dagegen giebt die erste Formel, wenn der Pfahl während der letzten Hitze von 25 Schlägen nur noch 2 Zoll sinkt, gleichfalls bei 5 Fuſs = 60 Z. Fallhöhe und 12,5 Centn. Gewicht des Pfahls

$$T = \frac{25 . 60 . 15^2 . 12,5}{2(15 + 12,5)^2} = 2789,2 \text{ Centn.}$$

Behält man die angenommene Tiefe des Einsinkens = $\frac{2}{25}$ Zoll bei und nimmt für die Höhen, die Gewichte der Rammklötze und die der Pfähle andere Werthe, so ergeben sich folgende durch beide Formeln gefundene Resultate.

$$T = 30 . 5 . 5 = 750. \qquad T = \frac{25 . 60 . 5^2 . 6}{2(5+6)^2} = 930$$

$$T = 30 . 5 . 10 = 1500 \qquad T = \frac{25 . 60 . 10^2 . 3}{2(10+3)^2} = 1331,3$$

$$T = 30 . 10 . 10 = 3000 \qquad T = \frac{25 . 120 . 10^2 . 8}{2(10+8)^2} = 3703,7$$

$$T = 30 . 20 . 15 = 9000 \qquad T = \frac{25 . 240 . 15^2 . 10}{2(15+10)^2} = 10800.$$

Aus dieser Zusammenstellung ergiebt sich, daſs die aus den Versuchen von Beaufoy abgeleitete Formel allezeit geringere Werthe giebt, als die gewöhnlich angewandte, auſser wenn die eingerammten Pfähle im Verhältniſs zum Rammbären nur ein sehr geringes Gewicht haben. Sind die Rammbären und Fallhöhen in beiden Formeln gleich, wie sich dieses von selbst versteht, wird dann das Gewicht des Pfahls dem des Rammbären gleich angenommen, und das Rammen so lange fortgesetzt, bis der Pfahl zuletzt noch $\frac{1}{120}$ Fuſs oder 0,1 Zoll, folglich während der letzten Hitze von 25 Schlägen noch 2,5 Zoll sinkt, so geben beide Formeln gleiche Werthe für T, denn es wird aus

$$30 s P = \frac{120 s P^2 Q}{(P+Q)^2}; \quad 30 P = \frac{120 P^3}{4 P^2}.$$

Digitized by Google

Für sonstige Tiefen des Sinkens giebt es kein rationales Verhältniſs zwischen dem Gewichte des Pfahls und Rammklotzes, wofür die beiden Formeln für T gleiche Werthe geben. Auf jeden Fall kann angenommen werden, daſs mindestens bei wichtigen Bauten das Gewicht des Pfahls nur selten unter der Hälfte des Gewichts des Rammklotzes betragen wird, und man darf sich daher der angegebenen bequemen Formel, wonach $T = 30 s . P$ ist, in der Praxis dreist bedienen, wobei es dann nach oben angegebenen Gründen hinreichende Sicherheit gewähren würde, wenn man die wirkliche Belastung der Hälfte der theoretisch gefundenen gleich annimmt.

M.

Reagentien.

Reagentia; Reactifs; *Reagents, Tests.*

Im weitern Sinne alle diejenigen unwägbaren und wägbaren Materien, welche in Berührung mit andern Materien irgend eine durch die Sinne wahrnehmbare Veränderung zuwege bringen, aus welcher sich auf die chemische Natur der letztern schlieſsen läſst; im engern Sinne diejenigen unter ihnen, welche *besonders auffallende* Veränderungen bewirken und deshalb in der analytischen Chemie zur Erkennung der chemischen Natur einfacher und zusammengesetzter Materien *vorzugsweise angewandt* werden.

G.

Reduction

(der Metalle), Wiederherstellung; *Reductio;* Reduction; *Reduction.*

Zurückführung eines Metalls aus seiner Verbindung mit Sauerstoff in den metallischen Zustand, welche theils schon beim Erhitzen der Metalloxyde für sich erfolgt, wenn dieselben den Sauerstoff loser gebunden enthalten, theils beim Zusammenbringen derselben mit Kohle oder andern brennbaren Stoffen, welche den Sauerstoff zu entziehn vermögen.

G.

Digitized by Google

Regen.

Pluvia; Pluie; *Rain.*

Mit dem Worte *Regen* bezeichnet man allgemein das Herabfallen von Wassertropfen aus der Atmosphäre auf die Erdoberfläche, oder eigentlicher diese Tropfen selbst, so lange sie im Zustande des Fallens sind, benennt den Act des Herabfallens mit dem Zeitworte *Regnen* und das auf diese Weise angesammelte Wasser mit dem Namen *Regenwasser*. Die beiden ersten Worte werden auch figürlich von vielen Sachen gebraucht, die in groſser Fülle, aber einzeln und in Zwischenräumen folgend, vorkommen. Für den vorliegenden Zweck ist es unnöthig, auf die letztere Bedeutung Rücksicht zu nehmen, da allgemein bekannt ist, was man unter Regen schlechtweg zu verstehn habe.

A. Ursprung des Regens.

Der Regen gehört zu den Hydrometeoren oder den Erscheinungen des Herabfallens solcher Substanzen aus der Atmosphäre, die dem Wesen nach aus Wasser bestehn und deren Ursprung in der Hauptsache gegenwärtig keinem Zweifel mehr unterliegt, früher aber Gegenstand lebhafter Streitigkeiten war[1]. Durch die genauere Kenntniſs des Wasserdampfs und Wasserdunstes[2] ist man nämlich zu der Ueberzeugung gelangt, daſs die Atmosphäre sehr allgemein einen ihrer Temperatur proportionalen Antheil von Wasser als Dampf oder, bei einem höhern Grade von Sättigung, als Dunst in der Gestalt von Wolken oder Nebel enthält, wobei zwar die Dichtigkeit oder der eigentliche Gehalt an tropfbar-flüssig darstellbarem Wasser durch anderweitige Bedingungen auf ein sehr geringes Minimum herabsinken kann, meistens aber groſs genug ist, um die Entstehung der sämmtlichen Hydrometeore genügend daraus zu erklären. Im Allgemeinen war man übrigens schon selbst in den ältesten Zeiten der Meinung, daſs

---

1 Vergl. Dove in Poggendorff Ann. XIII. 305.

2 Beide sind bereits im zweiten Bande dieses Werks ausführlich untersucht worden; auſserdem verweise ich auf den Art. *Atmosphäre* Bd. I. S. 465. und *Meteorologie*. Bd. VI.

der Regen aus dem durch Verdunstung aufgestiegenen Wasser entstehe, indem die emporgehobenen und wegen ihrer Feinheit unsichtbaren Partikeln desselben vereint hierdurch zu schwer würden und demnach herabfallen müſsten. Als Ursachen dieser Verdichtung betrachtete man Abkühlung, Luftverdünnung, Windstöſse, wodurch die Wolken gegen die Berge gedrückt würden, und andere, deren eigentliches Wesen und Wirkungsart man nach damaliger Weise nicht näher untersuchte. Nachdem die elektrischen Erscheinungen die Aufmerksamkeit mehr zu erregen angefangen hatten, rechnete man, namentlich seit Beccaria[1], auch die Elektricität unter die bedingenden Ursachen der Hydrometeore, Musschenbroek[2] weicht jedoch von dieser Ansicht insofern ab, als er der Elektricität hauptsächlich nur einen Einfluſs auf die Verdunstung beilegt, den Regen aber vorzugsweise durch den Wind bedingt werden läſst. Nicht bedeutende Aufmerksamkeit erregte die Modification, welche Hamberger und hauptsächlich le Roy[3] dieser Ansicht durch die Hypothese gaben, daſs das Wasser in der Luft aufgelöst sey, denn es wurde zugleich die Auflösungsfähigkeit der Luft ihrer Wärme proportional gesetzt, und so muſsten durch Abkühlung auch nach dieser Theorie Niederschläge entstehn.

In der neuern Zeit hat insbesondere de Saussure[4] der Theorie des Regens groſse Aufmerksamkeit gewidmet. Dem Wesen nach betrachtet er den Wasserdampf als eine Verbindung des Wassers mit Wärme, nimmt dann aber an, dieser Dampf werde in der Luft aufgelöst und durch Uebersättigung der letztern sogleich in sichtbaren Dunst verwandelt. Weil aber das Hygrometer einen hohen Grad der Feuchtigkeit anzeigen muſs, wenn wässerige Niederschläge in der Luft entstehn sollen, diese letztern aber oft plötzlich oder langsam wieder verschwinden, so schien ihm zur Erklärung dieser Phänomene eine andere bedingende Ursache nothwendig, die er in der Elektricität zu finden glaubte. Als ein Gegner dieser Theorie und der noch weit einfachern von Hutton trat de Lüc auf, allein es scheint mir überflüſsig, auch nur den

1 Lettere dell' Elettricismo. Bologna 1754.
2 Introduct. T. II. §. 2363.
3 Mém. de l'Acad. 1751. p. 481.
4 Essays sur l'Hygrometrie. A Neufchatel 1783. 8.

Hauptinhalt der vielen hierdurch veranlaſsten Abhandlungen und Streitschriften anzugeben, die in wissenschaftlicher Hinsicht jetzt ganz ohne Werth sind und nur in Beziehung auf die Geschichte eine kurze Erwähnung verdienen, um das Andenken an diejenige Periode zu erhalten, wo sie so ungemeines Aufsehn erregten.

De Lüc[1] fand nebst andern Physikern ein vorzügliches Argument gegen die aufgestellte Ansicht in der auſserordentlichen Menge des Regenwassers, welche oft nach vorausgegangener Heiterkeit plötzlich herabstürzt und wozu nach de Saussure's eigenen Bestimmungen die selbst in gesättigter Luft vorhandene Quantität Dampf nicht ausreiche; diesemnach könne also eine bloſse Verminderung der Temperatur nach Hutton's Ansicht höchstens eine leichte Trübung, aber keinen Regen erzeugen. Insbesondere erklärte sich de Lüc sehr nachdrücklich gegen die Hypothese einer Auflösung des Wasserdampfs in der Luft, und stellte dagegen eine andere auf, wonach das Wasser bei der Verdampfung in eine eigenthümliche Gasart verwandelt werden, in diesem Zustande nicht hygroskopisch wahrnehmbar seyn, durch eine abermalige Umwandelung aber als Regen wieder zum Vorschein kommen sollte. Ohne ein Anhänger der damals aufkommenden antiphlogistischen Chemie zu seyn, diente ihm dennoch die Darstellung des Wassers aus Gasarten zur Unterstützung seiner Ansicht. Was übrigens zum Wasser hinzukommen müsse, um dasselbe in Gas zu verwandeln, hat de Lüc zwar nicht ausdrücklich angegeben, indeſs folgt aus seiner Theorie vom Wesen der Elektricität[2], daſs es wohl nichts anderes als diese letztere seyn könne, worüber sich sein eifrigster Anhänger, Lampadius[3], noch deutlicher geäuſsert hat. Der stärkste Ausdruck des Streits erfolgte, als Zylius[4] in seiner Preisschrift zur Beantwortung der von der Berliner Akademie auf-

1 Neue Ideen über Meteorologie. Berlin und Stettin 1788. II Th. 8. Journ. de Phys. T. III. p. 287.

2 Vergl. *Elektricität.* Bd. III. S. 355.

3 Kurze Darstellung der vorzüglichsten Theorieen des Feuers. Gött. 1793. S. 86 ff. Versuche und Beobachtungen über die El. u. Wärme der Atmosphäre. Berlin u. Stettin 1793.

4 Versuch einer Theorie des Regens, Berlin 1795. 8. Vergl. G. IV. 309.

Digitized by Google

gegebenen Frage die Auflösungstheorie abermals in Schutz nahm und G. C. Lichtenberg [1] in einer eigenen Gegenschrift nicht bloſs diese Ansicht widerlegte, sondern auch die Hypothese des von ihm übermäſsig geschätzten de Lüc zu vertheidigen suchte, dabei aber sich durch zu lebhaftes Interesse für die Sache und die Person zum Ueberschreiten derjenigen Grenzen verleiten lieſs, welche die Gesetze der ruhigen und unparteiischen Forschung den Beförderern der Wissenschaften beim Kampfe über Meinungen vorgezeichnet haben. Zylius [2] vertheidigte sich hiergegen mit so vieler Mäſsigkeit, als die Heftigkeit des Angriffs zulieſs, die Aufgabe wurde fortwährend enger mit dem antiphlogistischen Systeme der Chemie verflochten, als dessen Gegner de Lüc auftrat, und dadurch in verschiedene Streitigkeiten, namentlich mit J. T. Mayer [3], Zylius [4] und andern gerieth [5], bis dieser einzelne Zweig wegen der Wichtigkeit der ganzen Theorie Lavoisier's die Aufmerksamkeit der Physiker nur im geringen Grade in Anspruch nahm, indem man sich begnügte, den Regen als einen Niederschlag des in der Atmosphäre befindlichen Dampfs zu betrachten.

Der erste, welcher die jetzt gangbare Theorie vom Regen aufstellte und durch scharfsinnige Inductionen zu beweisen suchte, war Dr. James Hutton [6], welcher den Satz aufstellte, daſs die Dichtigkeit des Wasserdampfs stärker als den Wärmevermehrungen proportional wachse, weswegen durch Mischungen wärmerer und kälterer Luftmassen selbst dann Niederschläge entstehn müſsten, wenn beide nicht vollständig mit Wasserdampf gesättigt seyen. Hieraus folgerte er den Niederschlag beim Athmen der Menschen und Thiere, des-

1 G. C. Lichtenberg's Vertheidigung des Hygrometers und der de Lüc'schen Theorie vom Regen. Gött. 1800.

2 G. V. 257. VIII. 342.

3 Gren's Journ. d. Phys. T. V. p. 371. Vergl. G. II. 121.

4 Gren's Journ. T. VI. p. 195. VIII. p. 51.

5 Auch Parrot's ältere Meinungen über diese Phänomene sind für die Geschichte dieser Streitigkeiten von Wichtigkeit. G. X. 166.

6 Transactions of the Roy. Soc. of Edinburgh. Edinb. and Lond. 1788. T. I. p. 41. Daraus in Gren's Journ. d. Phys. T. IV. p. 413. Unter den Engländern ist diesem hauptsächlich Dalton beigetreten und hat dessen Theorie zu der seinigen gemacht. S. Manchester Mem. T. V. Vergl. Ann. of Phil. XV. p. 253.

Digitized by Google

gleichen die durch Maupertuis in Lappland gemachte Beobachtung, daſs die in warme Zimmer dringende kalte Luft sogleich feinen Schnee erzeugte. Vermöge unserer gegenwärtigen genauern Kenntniſs vom Wesen der Dampfbildung wird die Richtigkeit dieser Behauptung nicht bloſs von selbst klar, sondern das Ganze läſst sich auch auf bestimmte Zahlengröſsen zurückführen, aus denen dann noch auſserdem hervorgeht, daſs der Wassergehalt der Atmosphäre hinreicht, um in Folge einer erfahrungsmäſsigen Abkühlung die stärksten Regengüsse zu erzeugen. Die Bestimmungen der Dichtigkeiten des Wasserdampfes sind zwar nicht mit absoluter Uebereinstimmung festgesetzt, weichen aber insbesondere für die mittlern Thermometergrade so unbedeutend von einander ab, daſs daraus keine merklichen Unterschiede hervorgehn können, und ich wähle daher unbedenklich die in diesem Werke bereits mitgetheilten[1]. Würden also gleiche Mengen Luft, die eine von 20° R., die andere von 10° R. Wärme, beide mit Wasserdampf gesättigt, vereint, so wäre ihre mittlere Temperatur 15° R. Nach der angezeigten Tabelle aber betragen die Dichtigkeiten des Wasserdampfs für die erstere Temperatur 0,017167, für die zweite 0,007614, mithin das arithmetische Mittel 0,012391, und da der Temperatur von 15° R. nur 0,011584 zugehört, so müſste Wasserdampf von der Dichtigkeit = 0,000807 frei werden, d. h. es muſs ein Dunst, ein Nebel oder ein wässeriger Niederschlag entstehn. Daſs die Abkühlung wärmerer Luftmassen sofort einen Niederschlag erzeugen könne, geht aus den Mittheilungen von Scoresby[2] hervor, welcher oft beobachtete, daſs bei südlichen Luftströmungen an der Grenze des ausgedehnten Polareises sogleich Schneeflocken herabfielen, weswegen Wolken in jenen Gegenden selten sind. Es folgt hieraus ferner unmittelbar, daſs die Niederschläge um so viel reicher seyn müssen, je höher die Temperatur vor der Abkühlung ist; denn wollte man die so eben mitgetheilte Berechnung für die Temperaturen von 30° und 20° R. anstellen, so geben die diesen zugehörigen Dichtigkeiten, nämlich 0,035171 und 0,017167, als arithmetisches Mittel 0,026169, und da der erzeugten mittlern Temperatur von 25° eine Dichtigkeit des Dampfs von

1 S. *Dampf* Bd. II. S. 871.

2 Mem. of the Werner. Soc. P. II. Vol. II. p. 319.

0,024841 zugehört, so ergiebt sich ein Ueberschuſs = 0,001328. Die Menge des Regenwassers muſs daher in heiſsern Gegenden und in den wärmern Jahreszeiten gröſser seyn, worauf sich viele der demnächst zu erwähnenden Thatsachen beziehn.

Auf gleiche Weise läſst sich leicht darthun, daſs die Menge des in der Atmosphäre schwebenden Dampfs und die nach Beobachtungen nicht übertriebenen Abkühlungen vollkommen hinreichen, um die anscheinend übergroſsen Quantitäten des herabfallenden Regenwassers genügend zu erklären. Will man dieses durch eine Berechnung ausmitteln, so stehn hierfür zwar nur genähert richtige Bestimmungen zu Gebote, deren Fehler sich jedoch so ziemlich ausgleichen, so daſs sich im Ganzen das Resultat nicht weit von der Wahrheit entfernt. Wenn wir also annehmen, daſs die der zunehmenden Höhe proportionale Wärmeabnahme 1° R. für 100 Toisen beträgt[1] und die Bildung der Wolken, also auch der Niederschläge, bis zur einer Höhe von 1500 Toisen erfolgt, den Sättigungszustand dieser Luftschichten mit Wasserdampf vorausgesetzt, so läſst sich aus der eben erwähnten Tabelle leicht die Menge des in diesem Raume enthaltenen Wassers und des durch eine bestimmte Abkühlung ausgeschiedenen auffinden. Bleibt dann das an heiſsen Tagen stattfindende sehr bedeutende Aufsteigen der warmen, mit Wasserdampf gesättigten Luftschichten unberücksichtigt, nimmt man dagegen eine 15° R. betragende Temperaturverminderung von der Erdoberfläche bis zu der bezeichneten Grenze an und setzt man die Wärme der untersten Schicht zu 26° R. fest, so lassen sich aus der zweiten Columne der erwähnten Tabelle die Dichtigkeiten des Wasserdampfs gegen Wasser, welche den einzelnen Schichten zugehören, entnehmen und hieraus folgt dann die mittlere Dichtigkeit = 0,0000215. Bei starken Regen, namentlich Gewittern und Hagelwettern, findet zuweilen eine Abkühlung bis 5° R. statt, jedoch will ich nur eine bis 10° annehmen und es bebeträgt dann die mittlere Feuchtigkeit der gesammten Luftschichten noch 0,00000567, mithin beträgt der als Niederschlag ausgeschiedene Antheil 0,00001582, welches mit der angenommenen Höhe von 1500 Toisen multiplicirt 0,14238 Fuſs oder

1 Vergl. *Erde*. Bd. III. S. 1019.

über 1,7 Zoll Regenhöhe giebt. Nimmt man aber hinzu, daſs die Luft während dieses Ausscheidungsprocesses nicht ruht, sondern daſs fortwährend neue Luftmassen herbeiströmen, die sich ihres ausgeschiedenen Wassers über einer gegebenen Gegend entledigen, so würde zwar eine Bestimmung der Zahl dieser Wechsel mit Rücksicht auf die Zeit, welche die obersten Tropfen bedürfen, um die Erdoberfläche zu erreichen, auf allzu unsichern Thatsachen beruhn, inzwischen gewährt dennoch eine ungefähre Uebersicht dieses Processes die Ueberzeugung, daſs auch die allerergiebigsten Regengüsse sich auf die angegebene Weise sehr einfach erklären lassen.

Eine Hauptschwierigkeit könnte in der Auffindung der Ursache zu liegen scheinen, welche jene Abkühlung erzeugt; allein ich habe hierüber bereits bei der Erklärung des schwierigsten hydrometeorischen Processes, nämlich der Hagelbildung [1], ausführlich geredet, und bemerke daher hier nur kurz, daſs die geringste Luftbewegung leicht einen Theil der obern kalten Luft herabführen und dadurch Wolkenbildung veranlassen kann. Jede Wolke bewirkt dann schon durch ihren Schatten eine Abkühlung, in deren Folge die höhern und benachbarten Luftschichten in die an ihrer Expansion verminderten eindringen müssen, die bereits gebildeten Niederschläge vermindern das Volumen der Luft, und auf diese Weise bedingen und befördern die einmal angefangenen Processe deren Fortsetzung und Vergröſserung, wie man sehr auffallend schon daraus ersehn kann, daſs die Regen in der Regel von Winden [2] und niedrigen Barometerständen begleitet sind, beide um so viel stärker, je mehr Regen herabfällt. Sehr auffallend zeigt sich dieses insbesondre bei einzelnen Strichwolken, welche gewöhnlich partielle und bald vorübergehende Kälte, von Windstöſsen begleitet, zu erzeugen pflegen.

Dem Regen geht in der Regel die Wolkenbildung voran, und man darf annehmen, daſs es der Natur der Sache nach nur aus Wolken regnen könne, indem der durchsichtige Dampf zuerst in Dunst, woraus diese bestehn, und demnächst durch Vereinigung der feinen Bläschen zu Tropfen in Regen verwandelt wird. Im Widerspruche mit diesem anscheinend noth-

1 S. Art. *Hagel*. Bd. V. S. 68 ff.
2 Vergl. *Wind*.

Digitized by Google

wendigen Gesetze sieht man dennoch zuweilen einzelne Tropfen vom heitern Himmel herabfallen, Musschenbroek[1] beobachtete dieses bei sehr groſser Hitze und Schwüle, und bei den Alten wird es als ein Prodigium erwähnt, läſst sich aber sehr gut erklären. Kaum der Bemerkung werth ist die häufig vorkommende Erscheinung, daſs von ganz klaren Theilen des Himmels einzelne Regentropfen herabzufallen scheinen, die aber durch den Wind von benachbarten Strichwolken herbeigeführt werden, wie man leicht wahrzunehmen vermag. Am häufigsten beobachtet man dieses im Frühlinge bei den sogenannten Aprilschauern. Ist die Atmosphäre bis zu beträchtlichen Höhen mit Wasserdampf gesättigt, so können sich leicht ohne allgemeine Wolkenbildung einige entstandene Dunstbläschen zu einzelnen Tropfen vereinigen und diese dann herabfallen. Daſs man sie vorher nicht sieht, läſst sich leicht daraus ableiten, daſs sie einzeln zu klein sind, um wahrgenommen zu werden, die aufgestellte Theorie wird aber nicht mehr zweifelhaft scheinen, wenn man die Anwesenheit der kleinen Eistheilchen berücksichtigt, denen die Nebensonnen bei heiterem Himmel ihre Entstehung verdanken; auch hat Kämtz auf eine sehr sinnreiche Weise vermittelst eines schwarzen Spiegels die übrigens unsichtbaren kleinen Eistheilchen in den Höfen erkannt, die sich um das so erhaltene Bild der Sonne zeigen[2].

Daſs der Regen durch Abkühlung der Luft und dadurch bewirkte Reduction des in ihr enthaltenen Wasserdampfs entstehe, läſst sich noch näher durch die später zu erwähnenden örtlichen Bedingungen desselben erweisen; zugleich aber stimmt damit vollkommen überein, daſs die Quantität desselben mit der Erhebung über die Erdoberfläche und der Zunahme der geographischen Breite abnimmt, welches gleichfalls später zur Untersuchung kommen wird. Hier möge vorläufig die Eintheilung der Regen in *Staubregen*, wodurch man den Uebergang vom Nebel zum Regen bezeichnen kann, in *Strichregen*, welche namentlich im Frühlinge aus einzelnen abgesonderten

---

1 Introduct. T. II. §. 2359.

2 Daſs man solche, am Himmel nicht sichtbare, schwache Höfe um das im Wasser gespiegelte Bild der Sonne wahrnimmt, ist eine bekannte Erfahrung.

Digitized by Google

Wolken nur beschränkte Districte treffen, in *Landregen*, die anhaltendsten und über weite Strecken verbreiteten, *Schlagregen* oder kurzdauernde, aber heſtige Regenschauer, *Platzregen* von den geringern Gewitterschauern bis zu den verheerenden Wolkenbrüchen, und *Dunstregen* genügen, mit welchem letztern Namen man die vorher beschriebenen einzelnen, bei heiterem Himmel fallenden, Tropfen bezeichnen könnte. Der *glätteisende* Regen bildet keine eigne Classe, sondern ist bloſs ein feiner Regen, welcher aus den höhern Regionen herabfällt, wenn die Erde noch gefroren ist und durch ihre Kälte die auffallenden Tropfen sofort in Eis verwandelt; er gilt daher mit Recht für einen sichern Vorboten beginnenden Thauwetters.

B. Substanzen, welche im Regen herabfallen.

Im Allgemeinen nimmt man an, daſs bloſs Wassertropfen im Regen herabfallen; inzwischen ist schon oben bemerkt worden, daſs man diesen Ausdruck bildlich auch von anderen, auf ähnliche Weise herabfallenden Substanzen gebraucht, und in dieser Beziehung liefert die Erfahrung einige zwar abentheuerlich klingende, dennoch aber wohl begründete und keineswegs unerklärbare Thatsachen.

Das Regenwasser ist eigentlich reines Wasser, und muſs dieses seyn, weil die Bildung des aufsteigenden Dampfs ein eigentlicher Destillationsproceſs im Ganzen genannt werden kann. Aber auch bei der künstlichen Destillation werden geringe Antheile heterogener Substanzen mit fortgerissen, und während in Folge der allgemein auf der Oberfläche der Erde und des Wassers stattfindenden Verdunstung der Wasserdampf aufsteigt, bei seiner Anwesenheit in der atmosphärischen Luft über die weitesten Strecken fortgeführt wird, hauptsächlich aber wenn er, in tropfbar flüssiges Wasser verwandelt, wieder zur Erde herabsinkt, müssen sich nothwendig verschiedene Bestandtheile mit ihm verbinden, welche in Folge des thierischen und vegetabilischen Lebensprocesses, der zahlreichen Zersetzungen und der mannigfaltigen technischen Processe sich gleichfalls von der Erdoberfläche aus in die Regionen der Atmosphäre erheben, oder durch heſtige Bewegungen der Luft me-

Digitized by Google

chanisch in die Höhe gehoben werden. Hiernach ist begreiflich, daſs die nach anhaltender Dürre zuerst herabfallenden Regentropfen am stärksten verunreinigt sind, demnächst aber fortdauernd reiner werden. Die Menge der heterogenen, mit dem Regenwasser sich mischenden Substanzen in der Atmosphäre ist jedoch verhältniſsmäſsig nur gering, und man darf hiernach das mit Vorsicht aufgefangene Regenwasser als rein betrachten, findet dieses auch wirklich, wenn man das nach anhaltender Dürre zuerst herabfallende ausschlieſst, und kann dasselbe daher füglich statt des destillirten Wassers mit groſser Sicherheit in Anwendung bringen. Es war demnach ein falsches Vorurtheil, wenn man in frühern Zeiten den wohlthätigen Einfluſs des Regens auf die Vegetation in Vergleichung mit künstlichem Begieſsen von beigemischten Salzen und später von einem gröſsern Antheile Sauerstoffgas ableitete, indem erstere, in gröſserer Quantität vorhanden, vielmehr nachtheilig wirken, die Menge des letztern aber verhältniſsmäſsig geringer ist, weil es sich mit dem Dampfe als solchem nicht verbindet, das niedergeschlagene Wasser aber zu kurze Zeit damit in Berührung ist, als daſs es eine bedeutende Quantität davon absorbiren könnte. Jene wohlthätigen Wirkungen beruhn vielmehr auf der gröſsern Menge des Wassers, welches selbst schwächere Regen liefern, auf seinem allgemeinern und bessern Eindringen in die gesammten Poren der Pflanzen, auf dem Einsaugen der Feuchtigkeit aus der gleichzeitig mit Wasserdampf gesättigten Luft und auf der in der Regel eintretenden Abkühlung und Beschattung durch Wolken, die den schädlichen Einfluſs zu greller Sonnenhitze mildern[1].

Der gröſste Theil des in der Atmosphäre befindlichen Wasserdampfs ist vom Meere aufgestiegen, und auſserdem erheben nicht selten heftige Sturmwinde einen nicht unbeträchtlichen Theil des Salzwassers vom Oceane, so daſs hiernach die Anwesenheit des Kochsalzes im Regen vermuthet werden kann. Inzwischen zeigen sich Spuren einer etwas gröſsern fortgerissenen Menge nur an den Küsten und in einiger Entfernung von diesen. So fand Dalton[2] in dem Re-

1 Naturkund. Verhandl. van de Hollands. Maatschappii de Wetensk. te Haarlem. T. VIII. p. 1.

2 Manchester Mem. New Ser. T. IV. p. 330 u. 370.

genwasser vom 5. Dec. 1822 zu Manchester 1 Th. Salz in 10000 Theilen Wasser, und da das Seewasser 1 Th. in 25 enthält, so muſste hiernach 1 Theil Seewasser in 400 Theilen Regenwasser enthalten seyn. Der den Regen begleitende Sturm kam von SW. nach W., der S.W.-Wind kommt dorthin von Wales, welches 100 engl. Meilen entfernt ist, der W. Wind von dem nur 30 bis 40 engl. Meilen entfernten Liverpool, und einer von beiden muſste also den Antheil Seewasser auf diese Entfernung mit fortgerissen haben. Bei einem spätern Sturme fand derselbe 1 Theil Salzwasser in 200 Theilen Regenwasser, Salisbury[1] aber beobachtete, daſs der Regen am 14. Jan. 1808 zu Mill-Hill an der Ostküste Englands kleine Salzkrystalle an den getroffenen Fensterscheiben zurücklieſs, auch fand er in der Umgegend solche an Blättern und kleinen Zweigen, weswegen er das öftere Verdorren derselben an jenen Orten aus dieser Ursache ableitet.

Nach Lampadius[2] enthält das in gröſserer Entfernung vom Meere, namentlich im mittlern Deutschland, aufgefangene Regenwasser nur selten, und meistens bloſs nach anhaltender Dürre, etwas Salpetersäure und salzsauren Kalk, spätere Untersuchungen[3] überzeugten ihn jedoch, daſs sich fast ohne Ausnahme etwas Salzsäure, meistens an Kalk gebunden, im Regen- und Schneewasser findet. Am meisten hat sich Zimmermann[4] mit der Untersuchung des Regenwassers beschäftigt, und allezeit salzsaure Salze, mitunter in leicht wahrnehmbarer Menge, nicht selten animalische und vegetabilische Bestandtheile, zuweilen noch sonstige verschiedene mineralische Stoffe darin gefunden, die er in einigen Fällen für kosmischen Ursprungs hält, deren Vorhandenseyn aber nur durch einen besonderen Zufall bewirkt seyn konnte. Ueberkohlensauren Kalk behauptet auch Stark[5] gefunden zu haben, Liebig[6] aber untersuchte 77 Proben Regenwasser, und fand in 17 nach Gewittern aufgefangenen etwas Salpetersäure an Kalk oder Ammoniak gebunden, von den übrigen 60 zeigten nur zwei

1 Gehlen's Journ. T. VII. p. 589.
2 Atmosphärologie S. 23.
3 G. LVIII. 440. LX. 106.
4 Kastner's Archiv. T. I. S. 257 u. a. a. O.
5 Ann. of Phil. T. III. p. 140.
6 Geiger Magaz. für Pharmazie. 1828. Jan. S. 37.

Digitized by Google

schwache Spuren davon, Kalksalze und einen geringen Theil Salpetersäure haben übrigens schon MARGGRAF[1] und T. BERGMANN[2] im gewöhnlichen Regenwasser angetroffen. Endlich führen auch die ausführlichen Untersuchungen von R. BRANDES[3], welcher auch von frühern Bemühungen zur Entscheidung dieser Aufgabe Nachricht mittheilt, zu dem Resultate, daſs sehr häufig einige mineralische Substanzen, namentlich salzsaure Salze, zu den in geringer Menge vorhandenen Bestandtheilen des Regenwassers gehören.

Das Regnen der verschiedensten Substanzen wird häufig von den römischen Schriftstellern erwähnt und galt damals, wie auch später, für ein Wunder. In den neuern Zeiten war man geneigt, die Erzählungen solcher Ereignisse für fabelhaft zu halten, auch fand sich, daſs das Regnen der Mäuse nach WORMIUS[4], der Frösche und des Bluts auf Irrthümern beruhe. Nach LINNÉ hat nämlich eine gewisse Gattung Mäuse (*mus montanus*) in Norwegen die seltsame Gewohnheit, zuweilen in groſser Menge auszuwandern, wobei sie bedeutende Verheerungen anrichten, zugleich aber ihrem Instincte so rücksichtslos folgen, daſs sie zahllos in Gräben und Vertiefungen fallen und dort den verfolgenden Bären zur Beute werden. Eine ähnliche Bewandtniſs hat es mit den Raupen, die zuweilen gleichfalls geregnet zu seyn scheinen, Frösche und sonstige Feuchtigkeit liebende Thiere pflegen aber nach einem Regen, insbesondre wenn er auf anhaltende Dürre folgt, aus ihren Schlupfwinkeln in Menge hervorzukommen.

Durch unzweifelhafte Zeugnisse sind jedoch viele Fälle des Regnens verschiedener Substanzen aus dem Pflanzen-, Thier- und Steinreiche genügend begründet, die entweder für sich, oder noch häufiger mit Regen oder Schnee vermengt, vom Himmel fielen, jederzeit aber aus dem natürlichen Grunde, weil sie, durch heftige Luftströmungen in die Höhe gehoben, eine bedeutende Strecke fortgeführt worden waren und beim Aufhören des Sturms wieder herabfielen. Unter die Ereignisse des

---

1 Chymische Schriften. Th. I. N. XVIII. §. 7.

2 De analysi aquarum. §. 4.

3 Schweigger's Journ. N. R. XVIII. 153.

4 Historia animalis, quod in Norvegia e nubibus decidit. Hafn. 1653. Schwed. Abh. II. 75.

Digitized by Google

Thiere-Regnens[1] gehört eine mir von glaubhaften Zeugen mitgetheilte Erzählung, daſs einst in der Mitte des vorigen Jahrhunderts bei einem Regen mit Sturm eine beträchtliche Menge Fische auf den Schloſshof zu Hannover herabfielen, und zwar von solcher Gröſse, daſs sie gegessen wurden. Zweifelhafter dürften die Nachrichten seyn, welche Quatremère[2] aus alten orientalischen Schriftstellern gesammelt hat, nämlich daſs nach Macrizy im Jahre 716 der Hedschra bei Balbek Fische herabfielen, welche gebraten wurden, und zu Sarmin eine Menge dicker Frösche, im Jahre 753 in Abyssinien und 775 zu Schizer in Syrien Schlangen, im Jahre 833 endlich zu Hemes in Syrien eine die Dächer und Häuser bedeckende Menge grüner Frösche. Auch nach Phanias fielen in Paeonien und Dardanien eine groſse Menge Frösche, im Chersones drei Tage nach einander Fische herab, Athenaeus erwähnt das Regnen der Fische als eine öfters wahrgenommene Erscheinung, und Eustathius erzählt, daſs einst am Fuſse des Bergs Marcu eine Menge Ratzen in die Höhe gehoben und gegen die Mauern der Stadt geschleudert wurden. Nicht zweifelhaft ist dagegen das nicht selten beobachtete Herabfallen der Heringe zugleich mit salzhaltigem Wasser, und zwar an der Küste der See[3]. Ein solches Ereigniſs meldet Colin Smith, welches 1796 zu Lorn, 1821 zu Melford-House und 1817 zu Apin, alle drei in der Nähe von Edinburg, die Aufmerksamkeit der Bewohner erregte; beim letztern Falle betrug die Menge viele tausende von 1,5 bis 3 Zoll Länge. Auch Forbes Mackenzie wurde nicht wenig überrascht, als er bei einem Spaziergange zu Fodderty in Roſs-shire in Schottland, ungefähr drei englische Meilen vom Meere, eine groſse Strecke Landes mit 3 bis 4 Zoll langen Heringen bedeckt fand, die nicht anders als durch den Sturmwind von der See hergetrieben seyn konnten. Aeltere Heringsregen erzählt Andrew Symson[4] von einem Orte in Galloway, 30 engl. Meilen von der See, und Arnot von Loch Leven. Auch Muscheln fielen einst zu Mo-

1 Aeltere Angaben dieser Art, namentlich, daſs es nach Avicenna sogar einmal Kälber geregnet habe, übergehe ich als bloſse Fabeln.

2 Mémoires géogr. et histor. sur l'Egypte cet. Par. 1811. Daraus in G. L. 295.

3 Edinb. Phil. Journ. N. Ser. N. I. p. 186.

4 Large description of Galloway. 1684.

nastereen in der Grafschaft Kildare herab[1], kleine Fische mit salzigem Wasser am 1sten Juli 1822 im Hofe des Potocki'schen Pallasts zu Petersburg[2], im Jahre 1806 eine groſse Menge Krabben in Oldenburg[3], andrer ähnlicher Ereignisse dieser Art nicht zu gedenken, die überhaupt oder mindestens mir nicht bekannt geworden sind.

Am leichtesten werden Insecten und Raupen durch Sturmwinde fortgeführt, ihre Menge ist, wie die der Heuschrecken, oft ungeheuer groſs, und daher verdienen die Nachrichten von ihrem Herabfallen am leichtesten Glauben. So erzählt Moller[4]: „Anno 1672 den 20sten Novbr. ereignete sich bei „Neusohl in Ungarn, wie auch um Eperies, ein sehr heftiges „Schneewetter, da dann unter demselben eine unzählige Menge „abscheulicher gelber und schwarzer, mit ziemlicher Gröſse „begabter Würmer continuirlich aus der Luft auf die Erde ge„fallen, daſs das weit und breit herumliegende Land zum Er„schrecken und Erstaunen der Einwohner damit bedeckt wor„den. Sie haben gegen drei Tage continuirlich gelebt, sind „hin und wieder häufig gekrochen, haben einander feindlich „angefallen, also daſs endlich die, um ein Merkliches grö„ſsern, gelben den kürzern gezogen, von den schwarzen über„wältigt, zerbissen und gar aufgefressen worden." Eine von ihm hinzugefügte nähere Beschreibung der verschiednen Thierchen übergehe ich. Auch zu Hartau und Spachendorf in der Gegend des Raudenberges im österreichischen Schlesien ereigneten sich am 10ten Jan. 1818, am 22sten Dec. 1819 und am 30sten Jan. 1820 solche Insecten-Regen. Am letztern Tage fielen sie in gröſster Menge um 2 Uhr Nachmittags bei anfangendem Thauwetter und 1°,5 R. Temperatur zugleich mit dem Schnee herab. Man unterschied vier Gattungen, die eine von der Gröſse der rothen Ameisen, aber etwas dicker, die zweite eben so groſs, aber schwarz, die dritte wie ein Floh und die vierte kaum halb so groſs. Sie fielen lebend herab und blieben eine geraume Zeit lebendig, erregten ein Jucken auf der

1 Edinb. Phil. Journ. a. a. O.

2 Frankf. Ob. P. Zeitung 1822. N. 204.

3 v. Türk Erscheinungen der Natur. 1818. S. 43.

4 Dan. Guilielm. Molleri meditatio de insectis quibusdam hungaricis prodigiosis, anno proximo praeterito ex aëre una cum nive in agros delapsis. Francof. 1673.

Haut und sträubten sich gegen das Einsperren in ein Glas[1]. Auf gleiche Weise sicher bewährt ist die Nachricht von dem Insectenregen, welcher sich am 17. Oct. 1827 zu Pokroff im Gouvernement Twer ereignete[2]. Auch dort fielen die Thiere in unermeſslicher Menge mit dem Schnee herab, waren schwarz und häſslich, mit Antennen und sechs Füſsen, vermittelst deren sie sich sehr kräftig auf dem Schnee bewegten. Sie ertrugen sehr die Kälte, denn sie starben nicht alle, selbst als die Temperatur bis — 8° herabging, schienen aber die Wärme in Zimmern nicht aushalten zu können. Aehnliche Erscheinungen sind der Raupenregen am 23. Dec. 1815 bei Valorbe, so reichlich, daſs ein Viertel Juchert Landes mit den Thieren bedeckt war[3], desgleichen zu St. Hermine in Fontenay, wo die Einwohner genöthigt waren, Feuer vor den Häusern anzuzünden, um sich des Andranges zu erwehren[4].

Nicht selten wird bei den ältern Schriftstellern ein Blutregen erwähnt, nach neuern Untersuchungen aber sind die herabfallenden rothen Substanzen thierischen oder mineralischen Ursprungs. Homer[5], Cicero[6], Livius[7], Plinius[8] berichten dieses Phänomen, auch Gemma Frisius[9], dagegen entdeckte schon Peiresc[10], daſs die vermeintlichen Blutstropfen von Insecten herrührten, weil er sie an Orten fand, die gegen herabfallende Tropfen geschützt waren. Indeſs will Hildebrand[11] solche rothe Insecten 1711 im Regen gefunden haben, und Bergmann[12] erzählt, daſs 1764 zu Cleve, Utrecht und an andern Orten ein rother Liquor zugleich mit den Regentropfen herabgefallen sey. Eine sehr vollständige Zusammenstellung und Prüfung der vielen ältern

1 Hesperus oder encyclopädische Zeitung. Th. XXVII. S. 130.
2 Journal de St. Petersbourg. Nr. 141. Nov. 1827.
3 Lausanner Zeitung. 1815.
4 Berliner Zeit. 1804. St. 43.
5 Ilias. Rhaps. R.
6 De Divinatione. L. II.
7 A. v. O. unter andern. L. XLII. c. 20.
8 Hist. nat. L. II. c. 56.
9 Cosmographia. L. II. c. 2.
10 Gassendi Vita Peirescii. L. II.
11 Acta liter. Sueciae An. 1731. p. 28.
12 Physical. Beschreib. d. Erdkugel. §. 115.

und neuern Erzählungen von Blutregen hat neuerdings Ehrenberg[1] geliefert, welcher der Meinung ist, daſs die rothe Färbung des Wassers, selbst desjenigen, welches Zimmermann am 3. Mai 1821 zu Gieſsen im Regenmesser erhielt, von Vegetabilien oder Thieren herrührt.

Früchte kommen zuweilen nicht sowohl in Begleitung des Regens, als vielmehr selbst gleichsam einen Regen bildend vom Himmel herab, obgleich Musschenbroek[2] die Thatsache bezweifelt und einige Nachrichten dieser Art durch umhergestreuten Taxussamen oder Wespenlarven, andere aus den durch Regen entblöſsten Knollen von *Ranunculus ficaria* oder *Chelidonium minus* veranlaſst glaubt. Eine ältere Nachricht[3] erwähnt das Herabfallen knollenartiger Gewächse in Kurland im Jahre 1686, ähnliche Früchte fielen am 19. und 20. Juni 1823 auf der Herrschaft Starkenbach in Böhmen während eines Gewitterregens herab, wurden für Knollen der *Ranunculus ficaria* gehalten und in Menge gegessen[4]. Für solche hielt man auch die in Schlesien und Böhmen wiederholt geregneten Vegetabilien, die Knollengewächse aber, welche im Sommer 1822 unweit Marienwerder und später bei Brieg herabfielen, wurden anfangs für den Samen von *Galium spurium* gehalten, nach entdeckten Unterschieden aber blieben sie unbestimmt[5], jedoch erklärte Treviranus[6] sie später für die Samenkörner von *Veronica hederaefol.*, die auf den dortigen Feldern häufig wachsen und öfter vom Himmel herabgefallen zu seyn schienen. Am 27. Juli 1802 ereignete sich ein Regen von Früchten zu Leon, in denen v. Jacquin die im Oesterreichischen auf gleiche Weise vorkommenden Knollen der *Ranunculus fic.* zu erkennen glaubte[7], Ventenat aber hielt sie für

---

1 Edinb. New Phil. Journ. N. XIX. 122. XX. 341.

2 Introd. T. II. §. 2358.

3 Kanold's curieuse und nutzbare Anmerkungen von Natur- und Kunstgeschichten. Budissin 1726. S. 79. Vergl. Scherer's Nord. Ann. Th. IV. S. 60.

4 Frankfurter O.-P.-Zeit. 1823. N. 219.

5 Hamb. Corresp. 1822. N. 87.

6 Isis 1823. Heft VI. S. 645. Aus L. C. Treviranus über gewisse in Westpreuſsen etc. gefallene Samenkörner. Breslau 1823, wo noch mehrere Ereignisse der Art erzählt werden.

7 Gehlen neues Journ. Th. I. S. 222. Th. II. S. 110. G. XVIII. 336.

eine Art Lupinen [1]. Am 8. Juli 1805 war die Erscheinung noch viel auffallender, indem während eines Regens bei heftigem Sturme zu Landshut in Schlesien vermeintliche Hagelkörner hörbar gegen die Fenster flogen und, da sie nicht schmolzen, aufgelesen und gegessen wurden; Wildenow konnte sie des Keimes wegen nicht genau bestimmen, hielt sie aber für *melampyrum arvense* oder sogenannten Wachtelweizen [2], nach der Untersuchung von Heim aber waren auch diese Knollen der *Ranunculus ficaria* oder *Chelidonium minus*, und die vermeintlichen Keime bloſse Wurzelfädchen, woran diese festzusitzen pflegen [3]. Merkwürdig ist noch, daſs im Jahre 1804 in Andalusien eine Menge Korn herabfiel, wovon man nachher in Erfahrung brachte, daſs es von einer Tenne zu Tanger durch den Sturmwind weggeführt war [4]. Auch in Persien in der Provinz Ramoe unweit des Ararat fielen 1828 und der Sage nach bereits 1824 eine Menge Früchte, an einigen Orten bis 6 Zoll hoch, die von Schafen und nachher auch von Menschen gegessen wurden. Desfontaines erklärte sie für Früchte von *Lichen lecidea* [5]. Am gründlichsten hat H. R. Göppert [6] die vielen Nachrichten über Früchteregen untersucht und aufgefunden, daſs in den meisten Fällen die Knollen der *Ranunculus ficaria* nicht einmal mit dem Regen herabgefallen, sondern nur durch ihn entblöſst und vom Wasser fortgeschwemmt waren, wie sich bei dem im Juli 1830 in Schlesien beobachteten Ereignisse dieser Art vollständig nachweisen lieſs. Diesem ähnliche Kornregen wurden am 28. Juli 1736 zu Bielitz in Schlesien [7], 1550 in Thüringen und 1570 in Oberbaiern [8], 1571 bei Breslau [9], 1548 bei Klagenfurt [10], 1571 und

---

1 Ann. Ch. Phys. XLIX. 108.

2 Voigt's Magaz. Th. X. S. 466.

3 G. XXI. 126.

4 Ann. de Chim. XLVIII. 105.

5 Ann. Ch. Phys. XXXIX. 423. Vergl. Schweigger - Seidel Journ. LX. 393.

6 Schlesische Provinzialblätter. 1831. Jan. u. Feb. Poggendorff Ann. XXI. 550.

7 Gelehrte Neuigkeiten Schlesiens. 1736. S. 397.

8 G. Zenker's Novellen aus der gelehrten und kuriosen Welt. Frankf. 1694.

9 Nicol. Pohl Hemerol. Siles. Vratisl, 1612. p. 220.

10 Fincelius Miscell. Cur. Decur. II, app. p. 14.

1691 zu Gottleberg und Villach[1], wobei es am letztern Orte Berberitzbeeren seyn sollten, und vermuthlich noch an vielen andern Orten, wo jene Pflanze häufig wächst, beobachtet.

Am häufigsten ist der sogenannte *Schwefelregen*, d.h. das Herabfallen eines gelben oder röthlichen Pulvers, meistens in Begleitung von wirklichem Regen, beobachtet worden. Etwas verdächtig scheint die Nachricht von einem Regnen wirklichen Schwefels am 24. Mai 1801 in der Gegend von Rastadt, den man auf der Oberfläche des aus dem Hagel und Regen in einem Gefäſse vereinten Wassers fand, und welcher letzterem die Eigenschaft, an einem Stabe haftend nach Art des gewöhnlichen Schwefels zu brennen, mitgetheilt haben sollte[2]. Sehr vollständig constatirt ist dagegen der Regen einer groſsen Menge von vegetabilischem Staube, welcher in der Nacht vom 24. Mai 1804 mit einem Gewitter herabfiel und groſse Strecken in und um Kopenhagen bedeutend stark bedeckte. Genauere Untersuchungen ergaben, daſs dieser Blüthenstaub von der gegen 8 Meilen entfernten Insel Amoch durch einen Sturmwind herbeigeführt war, ohne daſs man jedoch genöthigt ist, die Elektricität dabei als mitwirkend anzunehmen[3]. Ein ähnlicher gelber Staub soll am 18. Juni 1815 in Petersburg gefallen seyn[4]; Scheuchzer erzählt von einem solchen bereits 1677 am Zürcher See wahrgenommenen gelben Pulver, welches alle Gegenstände bis zur Dicke von einer Linie hoch bedeckte[5]; auch machte Hollmann[6] 1749 in Göttingen und Grischow in Berlin dieselbe Beobachtung, noch mehr aber wurde das Thatsächliche dieser Erscheinung begründet, als am 19. Apr. 1761 in der Gegend von Bourdeaux Regen mit vielem gelben Pulver gefärbt herabfiel, wovon Proben nach Paris gesandt und von der Akademie für Blüthenstaub der Tannen erklärt wurden, die damals zahlreich in jener Gegend blühten. Auch Schübler[7] erkannte das am 8. und 13. Mai 1823 bei Crailsheim mit einem Gewitterregen

---

1 Thuani histor. L. 50.
2 Aus Esprit de Journ. 1801. Jul. in Voigts Mag. III. 595.
3 Voigt Magaz. Th. VIII. 54 u. IX. 193. G. XVIII. 337.
4 G. LIII. 389.
5 Meteorologic. Helvetic. p. 14.
6 Comm. Soc. Gott. T. III. p. 59.
7 Schweigger's Journ. N. F. XI. 36.

Digitized by Google

herabfallende gelbe Pulver, welches aus Kügelchen bestand, die auf dem Wasser schwammen, für Blüthenstaub von Fichten. Göppert hat auſserdem noch viele ältere Nachrichten von vermeintlichen Schwefelregen aufgefunden, die sich insgesammt auf die angegebene Ursache zurückführen lassen, z. B. 1597 zu Stralsund, 1621 zu Leipzig, 1629 zu Wittenberg, 1670, 1679 und 1681 zu Altenburg nach J. Wolf[1], 1646 zu Kopenhagen nach A. Worms[2], welcher jedoch von eigentlichem Schwefel redet, 1665 zu Friedrichsstadt in Norwegen nach J. M. Stobäus[3], der diesen vermeintlichen Schwefel vom Hecla ableitet, obgleich die angegebenen Kennzeichen den vegetabilischen Ursprung darthun, 1658 im Mansfeldischen nach Spangenberg[4], 1690 in Juni zu Cassel nach J. Dolaeus[5], 1721 im Braunschweigischen nach Siegesbeck[6], 1731 im Lüneburgischen nach Berger[7], zu Chemnitz nach Meurer[8] und zu Ereiberg nach Möller[9]; sehr genügend aber wird das ganze Phänomen durch Schmieder[10] beschrieben. Aus botanischen Gründen glaubt Göppert, daſs die Schwefelregen im März und April vom Erlen- und Haselnuſs-Strauche, die im Mai und Juni von Fichtenarten, Wachholder und Birke, im Juli, August und September von Bärlappsamen, Rohr-, Liesch oder Teichkolben herzuleiten sind.

Auch das Regnen *mineralischer Stoffe* ist wiederholt beobachtet worden. Keine besondere Erwähnung verdient das Herabfallen des Staubs, der vulcanischen Asche und des Sands, obgleich diese Erscheinungen sich unmittelbar den erzählten anreihen lassen und die erdigen Stoffe nicht selten mit vegetabilischen gemengt sind, weswegen auch anzunehmen ist, daſs sie in der Regel auf gleiche Weise durch Sturmwinde fortgeführt werden. In den meisten Fällen läſst sich diese letztere Ur-

1 Misc. cur. sive Ephem. med. phys. Decur. II. Norimb. 1689.
2 Museum Lib. I. Sect. I. cap. 2.
3 Sim. Pauli Comm. de abusu Tabac. et Thée.
4 Chronic. Mansfeld. T. I. p. 395.
5 Append. ad encyclop. Chir. p. m. 122. Obs. 21.
6 Nova literaria Anni 1684.
7 Versuche in der Natur. S. 110.
8 Meteorologia. p. 280 u. 298.
9 Annales Friberg. Ht. 1.
10 Ephemerid. Acad. Nat. Curios. Cent. III. et IV. Norimb. 1715.

Digitized by Google

sache genügend nachweisen, in einigen seltenen Fällen bleibt es jedoch zweifelhaft, ob nicht die auf diese Weise zur Erde gelangenden Substanzen den Meteorolithen beizuzählen sind und also zu einer andern Classe von Phänomenen gehören. Dahin ist zu rechnen die durch Chladni[1] erwähnte Erzählung, wonach 1612 bei Madgeburg, Lohburg u. s. w. Schwefelklumpen von der Dicke einer Faust[2] und in England ein etwa einen Zoll groſses Stück Schwefel[3] gefunden worden seyn sollen, deren Ursprung man für meteorisch hielt. Hieran schlieſsen sich dann auch die Nachrichten vom vermeintlichen Blutregen, da der Staub zuweilen zu rothen Tropfen vereinigt wird. So beobachtete Dr. Lavagna[4] zu Caneto im Thal d'Oneglia während der Nacht vom 27. Oct. 1817 das Herabfallen eines feinen röthlichen Staubs. Als es darauf an andern Tage regnete, nahm das Wasser die minder roth gefärbten Theile weg, die stärker farbigen sammelten sich aber in Vertiefungen und glichen sehr dem Blute. Auf gleiche Weise hinterlieſs der Regen auf dem gebleichten Wachse zu Orleans rothe Flecken, die aus Eisenoxyd, Kiesel, Thon, Kalk und Kohlensäure bestanden[5].

Nachrichten vom Regnen des Staubs sind seltener, weil es weniger auffallend ist, solche Stoffe zu finden, dennoch aber sind genug davon aufgezeichnet, um die Sache selbst auſser Zweifel zu setzen. So beobachtete Döbereiner[6], daſs im Winter 1812 auf 1813 mehrmals mit dem Schnee und auf demselben Staub herabfiel, welcher aus Kalk, Kiesel und einer Spur von Eisen bestand. Ebenderselbe erhielt durch v. Göthe etwas grünen, mit dem Regen herabgefallenen Staub, welcher nach der Analyse aus 15 Theilen kohlensaurem Kalk, 4 Th. Kiesel, 3 Th. Pflanzensubstanz bestand und 2 Th. Verlust gab. Auch J. de Pourtalez[7] sah am 14. März 1813 zu Catanzaro in Catalonien aus einer den Tag verdunkelnden und allen Gegenständen einen röthlichen Schein gebenden

1 Ueber Feuermeteore. Wien 1819. S. 367.
2 Theatrum Europ. T. IV. p. 399.
3 Phil. Trans. 1736. p. 427.
4 Ann. Ch. et Phys. 1818. Juin. p. 208.
5 Ann. Ch. et Phys. XLV. 419.
6 Schweigg. Journ. IX. 222.
7 Ebend. 217.

Digitized by Google

Wolke eine groſse Menge rother Erde herabfallen, die der Richtung des Winds nach aus Africa herübergeführt seyn muſste. In der nämlichen Nacht fiel nach der Angabe des Lorenzo Luigi Linussio zu Tolmezzo in Friaul über weiſsem Schnee ein zwei bis drei Zoll hoher röthlicher Schnee bei NO-Wind bis zu Höhen von 150, mitunter sogar von 300 Toisen über der Meeresfläche, und über ihm lag wieder weiſser Schnee. Der Wind war den ganzen Tag stark, gegen die Nacht wurde er zum Orkane und an einigen Orten fiel Hagel[1]. Dieselbe röthliche Substanz fiel am 14. März 1813 zu Gerace, dem ehemaligen Locci, mit Regen, zu Abruzzo aber und in beiden Calabrien als bloſser Staub herab. Nach der Analyse des Luigi Sementini[2] bestand er aus 33,00 Kiesel, 15,5 Thon, 11,5 Kalk, 1 Chrom, 14,5 Eisen und 9 Kohlensäure, der Verlust von 15,5 wurde einem auf dem Filtro zurückgelassenen kohlenstoffhaltigen Staube beigemessen und Sementini war geneigt, die Substanz für vulcanischen oder meteorischen Ursprungs zu halten. Spedalieri[3] dagegen fand nach einer genauern Analyse 8 gr. Kiesel, 5 Eisen, 3 Thon, 1 Kalk, ½ Kohlensäure, ¼ Schwefel, 2 empyrheumatisches Oel, 2 Kohlenstoff, 2 Wasser und 2,25 Verlust, wonach die Bestandtheile weder auf vulcanischen, noch auf meteorischen Ursprung deuten und man daher annehmen muſs, daſs die heftigen Frühlingswinde den Staub aus Africa herbeigeführt haben. Auf ähnliche Weise fiel am 13. März Abends bis 14. Mittags über einen groſsen Theil von Kärnthen 11 Zoll hoher Schnee, wovon 2,5 Z. weiſs, dann 3 Zoll röthlich und wieder 5,5 Zoll weiſs waren. Hollemschnigg untersuchte ihn und fand in 100 ℔ Schnee 236 gr. erdige, im Wasser unauflösliche, dem Aeuſsern nach thonartige Substanz, welche aus 10,24 Kieselerde, 47,83 Thonerde, 10,03 Eisenoxyd, 18,98 Kalk, 12,78 Talk und 0,14 Verlust bestand[4]. Am 16. Mai 1829 ereignete sich zu Siena ein Erdregen, welcher aus vegetabili-

1 Eb. IX. 220.

2 Brugnatelli Annali cet. 1818. p. 32. u. 469. Daraus in G. LXIV. 327. und Schweigger's Journ. XIV. 130.

3 Brugnatelli a. a. O. p. 471.

4 Hesperus T. XXX. S. 67. V. Horner in G. XLVI. 99.

scher Materie, kohlensaurem Eisen, kohlensaurem Kalk, Magnesium, Thon und Kiesel bestand[1].

Am meisten Aufsehn hat der Schlammregen am 6. April 1804 zu Udine erregt, welchen zuerst Fortis[2] mit der Bemerkung bekannt machte, daſs seine Bestandtheile weder auf meteorischen, noch auf vulcanischen Ursprung deuteten, man ihn also für solchen Schlamm halten müsse, womit die dortigen Ströme bei Ueberschwemmungen die Ebenen zu bedecken pflegen. Für unzweifelhaft meteorischen Ursprungs wäre aber die rothe Substanz zu halten, welche den am 2. Nov. 1819 zu Blankenburg und Dixmude in Flandern gefallenen Regen roth färbte, wenn es richtig ist, daſs der Analyse nach die färbende Substanz aus salzsaurem Kobaltoxyd bestand[3], dagegen ergaben spätere Untersuchungen, daſs die schwarze Masse, welche am 23. Nov. 1819 während eines schrecklichen Gewitters zu Montreal den Regen wie Tinte färbte, nichts anderes als Ruſs war, welchen der Wind von einem entfernten brennenden Walde herbeigeführt hatte[4]. Merkwürdig ist aber, daſs sich das Herabfallen des schwarzen Staubs bei heftigen Gewittern in jenen Gegenden öfter wiederholt. Sewell[5], Präsident der literärischen Gesellschaft zu Quebeck, erzählt nämlich, daſs im October 1785 und im Juli 1814 über einen groſsen District von Canada nach einer Finsterniſs, die den Tag zur vollständigsten Nacht machte, in wiederholten Absätzen solcher schwarzer Staub herabfiel, welcher jedoch nicht näher untersucht wurde, einigen angegebenen Kennzeichen nach aber einer feinen Asche glich. Sewell bemerkt dabei mit Recht, daſs 1785 das Niederfallen der ascheartigen Substanz über einen District von New Brunswick bis Montreal, etwa 300 engl. Meilen in die Länge und 200 in die Breite statt fand, daſs die erst braungelb, dann schwarz erscheinenden Wolken damals und 1814 durch NW-Wind herbeigeführt wurden, daſs man von keinem gleichzeitigen Waldbrande Nachricht erhalten habe, ein solcher auſserdem

1 Ann. de Chim. et Phys. XLV. 419.
2 Journ. de Phys. T. LVI. p. 116. G. XVIII. 332.
3 Annales générales des Sciences physiques. 1819. Nov.
4 Edinb. Phil. Journ. Nr. IV. p. 381.
5 Edinb. New Phil. Journ. Nr. XXVIII. p. 221.

in jenen holzarmen Gegenden überhaupt kaum möglich sey und die Asche auſserdem der von verbranntem Holze nicht geglichen habe. Hiernach hält er sie für vulcanisch und glaubt an die Existenz eines unbekannten Vulcans auf Labrador; wahrscheinlicher scheint es aber, sie von Island abzuleiten, obgleich die groſse Entfernung diese Hypothese etwas unwahrscheinlich macht.

C. Menge des Regens.

Wenn es sich um die Regenmengen handelt, so läſst sich diese Untersuchung mehrseitig anstellen, insofern man zuerst die Gröſse der einzelnen Tropfen, dann die Zahl derselben neben einander und die Schnelligkeit, in welcher sie auf einander folgen, sowohl an sich als auch in Beziehung auf die Höhen in fast vertical aufsteigender Richtung, demnächst die Menge und Dauer der Ergüsse nach den verschiedenen Orten und Jahrszeiten, und endlich eben diese Regenmengen in Beziehung auf einen möglichen periodischen Wechsel berücksichtigt, wobei zugleich ihr Zusammenhang mit andern meteorischen Erscheinungen, namentlich den Winden und der Luftelektricität, betrachtet werden kann.

a) Gröſse der Regentropfen.

Es ist bereits als bekannt erwähnt worden, daſs die Regentropfen von den kleinsten, die man als feinste Kügelchen oft, insbesondere auf dunklem rauhem Zeuge, wahrnimmt, bis zu den gröſsten wechseln, die man am besten aus der gegebenen Wassermasse erkennt, wenn sie durch den Wind gegen die Fensterscheiben getrieben werden oder auf trocknen Flächen einzeln auffallen. Da der Regen überhaupt in dem Herabfallen der Tropfen besteht, die durch Vereinigung der feinen Dunstbläschen gebildet werden, so müssen jene so viel gröſser seyn, je bedeutender die Menge von diesen ist. Letztere, nämlich die Menge der vorhandenen Dunstbläschen, wird aber bedingt theils durch die gröſsere Nähe, worin sie sich neben einander befinden, theils durch die beträchtlichere Höhe, bis zu welcher sie über einander schweben, wenn man voraussetzt, daſs sie selbst vermöge ihrer Leichtigkeit und des Widerstands der Luft vor ihrer Vereinigung entweder in stets gleich-

bleibender Entfernung von der Erdoberfläche sich schwebend erhalten, oder nur sehr langsam in verticaler Richtung herabsinken. Hiernach muſs also die Gröſse der Tropfen der Dicke der Wolken, die sich durch eine dunklere bis zur schwarzen Färbung ankündigt, und ihrer verticalen Ausdehnung proportional seyn, was mit der Erfahrung übereinstimmt. Die Bildung des Dunsts und die Vereinigung seiner Bestandtheile zu Tropfen erfolgt aber durch Abkühlung, diese kann zwar von unten auf bis zu einer beträchtlichen Höhe, aber auch nur in einzelnen höhern oder niedrigern Luftschichten statt finden; die namentlich aus gröſsern Höhen herabfallenden Tropfen bewegen sich dann zuletzt nicht mehr in Wolken, sondern durch einen dunstfreien Raum, und können also ebensowohl durch Verdampfung an Volumen abnehmen, als auch durch Aufnahme von Wasserdampf wachsen, wobei ihre Zunahme durch die Menge des vorhandnen Dampfs und ihre eigene geringe Temperatur bedingt wird.

Werden alle diese Bedingungen berücksichtigt, so folgt daraus, daſs im Allgemeinen die Tropfen bei niedrigerer Temperatur und unter höhern Breiten kleiner, bei stärkerer Wärme und unter geringern Breitengraden aber gröſser sind. Auch der Nebel befeuchtet die Gegenstände mit kleinen Tropfen, eine scharfe Grenze zwischen beiden Hydrometeoren findet überhaupt nicht statt, die kleinsten Tropfen sind daher diejenigen, welche aus solchen Nebelschichten herabfallen, weil diese nur niedrig gehn[1], ferner die dem Regen im Winter und bei geringerer Wärme zugehören, weswegen solche auch bei weitem am wenigsten reichliches Wasser geben. Weit gröſser sind dagegen die Tropfen im Sommer und bei Gewittern nach anhaltender Wärme, woraus erklärlich wird, daſs die naſskalten Sommer zwar die gröſste Menge anhaltender Regenschauer, aber dennoch nicht selten die geringste Menge von Regenwasser liefern, indem bei einem einzigen heftigen Gewitter oft mehr Wasser herabfällt, als wenn eine oder selbst mehrere

---

1 Gehler a. A. Th. III. S. 309. bezeichnet das Phänomen durch den eigenthümlichen, nicht allgemein bekannten Ausdruck: *Naſs-Niedergehn*, und bemerkt dabei ganz richtig, daſs die Tröpfchen durch Vereinigung der Dunstbläschen in den untern Theilen der Nebelschichten entstehn.

Wochen lang kein Tag ganz frei von Regenschauern ist. Die gröſsten Tropfen unter mittlern und höhern Breiten fallen einzeln als Vorläufer nachfolgenden Hagels herab, haben unter mittlern Breiten die Gröſse starker Erbsen, der Haselnüsse und wohl noch darüber, erlangen aber dennoch nicht die Gröſse, welche man nach den Berichten der Reisenden[1] in der äquatorischen Zone antrifft, wo sie zuweilen einen Durchmesser von einem ganzen Zolle erlangen sollen und beim Auffallen auf die nackte Haut eine sehr unangenehme Empfindung erzeugen[2]. Daſs die namentlich vor starken Hagelwettern vorangehenden und oft als sichere Vorboten derselben zu betrachtenden einzelnen dicken Regentropfen aus den ersten Hagelkörnern entstehn, welche von bedeutenden Höhen herabfallend in den untern, noch nicht abgekühlten Regionen der Atmosphäre schmelzen, unterliegt nach meinen darüber angestellten Beobachtungen durchaus keinem Zweifel[3], vielmehr nimmt man deutlich wahr, wie die in zunehmend kürzern Zeitintervallen einander folgenden einzelnen Regentropfen und demnächst Hagelkörner, letztere nur zum Theil geschmolzen und daher minder groſs als die spätern, allmälig in einander übergehn, und man kann mit ziemlicher Sicherheit von diesen Regentropfen auf die Gefahr des bevorstehenden Hagelns schlieſsen. Je gröſser und mehr einzeln nämlich bei unausgesetztem Toben und Brausen des Gewitters jene sind, desto mehr ist ein starker Hagelschlag zu befürchten, wogegen, ungeachtet der übrigen Vorzeichen, die Gefahr weit geringer ist, wenn kleine und häufige Tropfen herabzufallen beginnen; und hat es zuvor einige Zeit geregnet, so ist auf jeden Fall kein starkes Hagelwetter mehr zu fürchten, was mit der von mir vertheidigten Theorie des Hagels sehr genau übereinstimmt. Jene groſsen Regentropfen zeichnen sich zugleich auch durch die Heftigkeit ihres Aufschlagens aus, weil sie als Hagelkörner eine gröſsere Geschwindigkeit erlangen und diese später noch zum Theil beibehalten. Uebrigens ist die

1 Peron's Reisen. D. Ueb. Th. I. S. 27. Journ. de Phys. T. LXVIII. p. 436. T. LXX. p. 157.

2 Golberry Fragmens. II. 306.

3 Vergl. Art. *Hagel*. Bd. V. S. 49, wo ich die von mir genau beobachteten Hagelwetter bereits erwähnt habe.

Digitized by Google

Geschwindigkeit des Fallens bei den Regentropfen nur gering, und zwar um so geringer, je kleiner sie selbst sind, weil die Luft ihrem Falle einen zu bedeutenden Widerstand entgegensetzt. Es läſst sich durch Rechnung darthun, daſs die Regentropfen keine bedeutende Fallgeschwindigkeit erhalten und ebendaher auch keinen groſsen Effect haben können, allein die hierfür erforderlichen Gröſsenbestimmungen sind allzu unsicher, als daſs sich ein genaues Resultat erwarten lieſse, wie eine nähere Erörterung dieser Aufgabe darthun wird[1]. Den Beobachtungen nach nehmen wir nur dann eine gröſsere Geschwindigkeit und ein stärkeres Aufschlagen der Regentropfen wahr, wenn sie durch den Wind fortgetrieben werden.

b) Stärke des Regens im Allgemeinen.

Auf gleiche Weise, als die Regentropfen von den kleinsten bis zu den gröſsten verschieden sind, zeigt sich auch ein Unterschied in ihrem nähern oder fernern Beisammenseyn und in der Schnelligkeit, mit welcher sie einander folgen. Hierbei darf ich als allgemein bekannt und kaum der Erwähnung werth voraussetzen, daſs zuweilen, selbst ziemlich lange Zeit anhaltend, nur einzelne Tropfen in der Entfernung mehrerer Zolle von einander und in bedeutenden Zwischenzeiten herabfallen, was man schwache Regen nennt, wogegen zu andern Zeiten die Tropfen nicht bloſs dicht neben einander sind, sondern sich auch so schnell folgen, daſs sie zusammenhängende Wasserstrahlen zu bilden scheinen, weswegen man sich wohl zur Bezeichnung des Ausdrucks bedient, der Regen ströme wie Bindfaden vom Himmel herab. Diese allgemein bekannte Thatsache ist an sich einer besondern Betrachtung nicht werth, gewinnt jedoch dadurch an Interesse, wenn man die sehr ungleichen Wassermengen neben einander stellt, die an verschiedenen Orten während gleicher Zeiträume zum Vorschein kommen und die man nach der hierdurch erzeugten Wasserhöhe in einem beliebigen Längenmaſse oder nach der auf eine bestimmte Fläche fallenden Quantität in irgend einem kubischen Maſse ausgedrückt zu bestimmen pflegt[2].

---

1 Vergl. Art. *Widerstand*.

2 Ueber die hierzu geeigneten Meſswerkzeuge s. Art. *Regenmaſs*.

Digitized by Google

In Deutschland und man darf wohl im Allgemeinen sagen in allen Ländern, welche unter dem 48. Grade nördlicher Breite oder unter höhern Breitengraden liegen, giebt ein mäſsiger und selbst auch ein stärkerer Regenschauer, welcher gegen eine Stunde dauert, selten einen halben pariser Zoll Regenhöhe, und es kann schon eine ganze Nacht hindurch oder selbst 24 Stunden lang beträchtlich stark regnen, wenn die Höhe des im Regenmesser aufgefangenen Wassers das Doppelte jener Gröſse zeigen soll, nur sehr selten aber ist dieses bei einem heftigen Gewitter der Fall. Geht man über den 50. Breitengrad hinaus, so werden die Regenhöhen noch beträchtlich geringer, jedoch würden die Ausnahmen von dieser allerdings wohlbegründeten Regel häufiger seyn, wenn nicht die Regenmesser im Ganzen selten wären und daher manche ungewöhnlich starke Regengüsse hinsichtlich der gegebenen Wasserhöhe unbekannt blieben. Aus dieser Ursache ist es abzuleiten, daſs man nur wenige Beispiele ungewöhnlich starker Regenmengen genau kennt, die entweder während einiger weniger Stunden oder selbst mehrerer anhaltend regnerischer Tage herabfielen.

Vorzugsweise verdient in dieser Beziehung die ganz ungewöhnliche Regenmenge genannt zu werden, wodurch sich das Jahr 1813 namentlich in der Zipser Gespannschaft in Ungarn auszeichnete. Nach der Beschreibung von Rumi[1] war schon der Mai anfangs regnerisch, der Juni gleichfalls, dann das Ende des Juli, und die drei folgenden Monate August, September und October hatten zusammen kaum 6 ganz heitere Tage. In der Nacht des 24. Aug. trat aber der 48 Stunden lang anhaltende Regen ein, welcher unter andern den von der Lomnitzer Spitze kommenden Steinbach und die Poper, worin er sich ergieſst, nebst den andern in jenen Gebirgen entspringenden Flüssen so anschwellen machte, daſs namentlich die Vorstädte des Städtchens Käsmark, letzteres selbst und die Umgegend durch ganz unerhörte und aus frühern Zeiten nicht bekannte Ueberschwemmungen unermeſslichen Schaden erlitten. Auf ähnliche Weise regnerisch war hier in Heidelberg und in einem groſsen Theile von Deutschland das Jahr 1829, jedoch kam es nicht zu anhaltenden Ueberschwemmungen, wie

1 Wiener Zeitschrift. Th. V. S. 57 ff.

Digitized by Google

in dem bekannten nassen Jahre 1816 und im Spätjahre 1824. Das letztere Jahr ist überhaupt wegen der groſsen Regenmenge ausgezeichnet, welche über vielen Gegenden des nordwestlichen Europa's hauptsächlich im Herbste herabfiel. Namentlich betrug dieselbe in Manchester im September 5,440, im October 6,896, im November 5,510 und im December 6,820, also im Ganzen 24,660 engl. oder 23,14 par. Zoll, wodurch auch dort bedeutende Ueberschwemmungen entstanden[1]. Eben so erstaunlich waren die Regenmengen zu La Chapelle bei Dieppe, und selbst in Paris, wo im October 1823 nur 49 Millimeter Regen fielen, betrug 1824 die Menge desselben 110 Millimeter[2]. Am Ende des Monats October und im Anfange des Monats November waren auch in hiesiger Gegend die starken Regen, welche die allgemein bekannt gewordenen Ueberschwemmungen erzeugten[3]. Sie waren hier in Heidelberg ohne Zweifel etwas geringer, als in der Umgegend, das Regenmaſs gab aber in der Nacht zum 27. Oct. nur 1 Zoll; am 28. Nachmittags 1,5 Z., am 30. Abends 0,75 Z., am 31. Abends 0,5 Zoll und am 1. Nov. 1 Zoll, also in ungefähr 5 Tagen nicht mehr als 4,75 oder höchstens auf 24 Stunden fast ununterbrochenen Regens nur etwa 1 Zoll, und dennoch erzeugte ein solcher Regen, zum Theil auch wegen seiner langen Dauer und weiten Verbreitung über verhältniſsmäſsig ausgedehnte Strecken so bedeutende Wasserschwellen der gröſsern und kleinern Flüsse. Zu der nämlichen Zeit fielen[4] vom 28. Oct. Abends bis zum 30. Oct. Morgens zu Freudenstadt auf dem Schwarzwalde 7,2 Zoll, zu Wangen im Neckarthale 5,5 Z., zu Hohenheim auf den Fildern 4,7 Z., zu Stuttgart 4,6 Z., zu Genkingen auf der Alp 3,4 Z., zu Tübingen 3,3 Z. und zu Giengen am südlichen Abhange der Alp 3,3 würtemb. Zoll, zwar überall mehr als hier, aber doch nicht so bedeutend viel, um das Erstaunen über die unglaublichen Regenmengen an andern Orten gänzlich zu entfernen. Arago[5] giebt eine Zusammenstellung einiger ausgezeichneten Fälle dieser Art, ins-

1 Bibl. univ. XXVIII. 31.

2 Ann. Chim. Phys. XXVII. 376.

3 Poggendorff. Ann. III. 149.

4 Schübler a. a. O. S. 149. und ausführlicher in Schweigger's Journ. XLIV. 235.

5 Ann. Chim. et Phys. XXXVI. 413.

besondere vom Jahre 1827, indem namentlich am 20. Mai zu Genf während drei Stunden 6 Z., zu Montpellier vom 23. bis 27. Sept. 15 Z. 8 Lin., ebendaselbst neben der Stadt während 48 Stunden vom 24. bis 26. desselben Monats 11 Z. 10 Lin. Regen herabfielen. Tardy de la Brossy erhielt seit 23 Jahren am 9. August 1807 an einem Tage 9 Zoll 3,5 Lin. als die gröſste beobachtete Regenmenge und am 9. October desselben Jahrs während 24 Stunden 29 Zoll 3 Linien[1]. Eilf Tage des nämlichen Monats gaben 36 Zoll und fast 1 Lin. Regenhöhe, also ungefähr die doppelte jährliche von Paris[2]. Das stärkste von allen und wahrhaft ans Unglaubliche grenzend ist jedoch die Angabe zuverlässig genannter Augenzeugen, daſs am 25. Oct. 1822 über einen kleinen District bei Genua aus einer schweren Gewitterwolke nach genauen Schätzungen, jedoch ohne eigentliche Messung, 30 Zoll Regenwasser herabgefallen seyn sollen; das bis 30 Palmen hoch angeschwollene Wasser bildete in der Ebene von Pilla und Orti einen 1500 Fuſs breiten Strom[3].

Ueberhaupt scheinen einige Länder, welche das mittelländische Meer an seiner Nordseite umgeben, solchen unglaublichen Regengüssen vorzugsweise ausgesetzt zu seyn, denn auch Flaugergues[4] erhielt zu Viviers am 6. Sept. 1801 während 18 Stunden 13 Z. 2,3 Lin. Regenwasser und d'Hambres-Firmas[5] im Juni 1824 zu Alais 8 Zoll, sonach fünfmal so viel, als im Mittel seit 1802. Auch zu Genf fielen am 20. Mai 1827 bei einem Gewitter, welches ohne bedeutenden Sturm mit etwas Hagel anfangend die Umgegend des Sees Leman traf, 6 Zoll Regenwasser, was bei einer mittlern Regenhöhe von etwa 30 Zoll, und da das Jahr 1816 nur 36 Zoll gab, allerdings sehr bedeutend ist[6]. Im Allgemeinen sind übrigens die mittlern jährlichen Regenhöhen an der französischen Küste des mittelländischen Meers nicht groſs, einzelne Regengüsse aber so viel stärker, je geringer die geographische Breite und je

1 Arago setzt in Worten hinzu: Neunundzwanzig Zoll drei Linien, um über diese enorme Menge keine Ungewiſsheit zu lassen.

2 Bibl. univ. T. IV. p. 186. u. T. XXXVI. p. 239.

3 Bibl. univ. T. XXII. p. 67. Vergl. Ann. Ch. Ph. XXXVII. 400.

4 Bibl. univ. T. VIII. p. 132.

5 Bibl. univ. T. XXVII. p. 187.

6 Ebend. T. XXXIV. p. 84.

Digitized by Google

höher die Temperatur derjenigen Orte ist, wo sie sich ereignen. Minder auffallend muſs es daher erscheinen, daſs an einigen Orten der äquatorischen Zone zuweilen eine unglaubliche Menge Regen herabfällt, weil dort die Regenzeit meistens nur von kurzer Dauer, dann aber zugleich die Menge des Regenwassers ungleich gröſser ist, als unter höhern Breiten; auch würden wir aus jenen Gegenden weit mehr Nachrichten von ungewöhnlich starken Regengüssen haben, wenn dort die Zahl der genauen Beobachter gröſser wäre. Unter andern berichtet ROUSSIN[1], daſs zu Cayenne (4° 56′ nördl. Br., 34° 35′ westl. L.) in der Nacht vom 14. zum 15. Febr. 1820 von 8 Uhr Abends bis 6 Uhr Morgens 10,25 Zoll und vom 1. bis 24. Febr. desselben Jahrs 12 Fuſs 7 Z. Regen herabfielen. Auf der Caraibischen Insel Grenada betrug die Regenmenge am 21. Oct. 1817 binnen 24 Stunden 8 Zoll[2]. Nach ADIE[3] betrug die Regenmenge zu Bombay im Jahre 1827 am

13.	Juni	— 7,00	Zoll	19.	Juni	— 3,80	Zoll
15.	-	— 3,18	-	20.	-	— 4,04	-
16.	-	— 5,17	-	24.	-	— 2,21	-
17.	-	— 2,10	-	25.	-	— 3,95	-
18.	-	— 3,36	-	28.	-	— 5,92	-

Nach einer andern Angabe von SCOTT[4] fielen daselbst während 12 Tagen 32 engl. Zoll Regen, welches ungefähr so viel beträgt, als die mittlere Regenhöhe in England. Noch mehr ins Unglaubliche geht die Angabe des ANTONIO BERNARDINO PEREIRA LAGO, welcher zu San Luis do Maranhao (2° 29′ südl. Br) in dem einzigen Jahre 1821 nicht weniger als 23 F. 4 Z. 9,7 Lin. engl. Regenwasser gemessen zu haben versichert, und dennoch scheint diese Gröſse nach der durch v. HUMBOLDT angestellten Prüfung der Beobachtungsart Glauben zu verdienen; auch findet Letzterer sie für einen Ort, wo alle Bedingungen zur Vergröſserung der Hydrometeore vereinigt wirken, keineswegs übertrieben, indem unter der heiſsen

1 Ann. Ch. et Phys. XV. 425. XXVII. 406. G. LXVIII. 212. Edinb. Phil. Journ. N. XV. p. 185. Alle aus Silliman Amer. Journ. of Sc. IV. 375., wo die Angabe als unbezweifelt richtig mitgetheilt wird.

2 Ann. Ch. Ph. IX. 223.

3 Edinb. Journ. of Science. N. XIX. p. 142.

4 Edinb. Phil. Journ. New Ser. N. VII p. 182.

Zone America's in den waldigen Gegenden der jährliche Regenertrag gewöhnlich auf mindestens 100 bis 112 par. Zoll zu steigen pflegt[1]. Dagegen giebt es selbst unter der äquatorischen Zone Orte, wo die Regenmenge ungleich geringer ist, als selbst in der gemäſsigten, unter andern namentlich in Cumana, wo sie kaum 7 bis 8 Zoll beträgt. Die Tropfen sind dort ausnehmend groſs, wie in der Regel in den regenarmen Gegenden, aber sie fallen sehr einzeln und auſserdem sind die Monate von December bis September sehr trocken, die Regen sind Schlagregen, dauern nur etwa 15 bis 20 Minuten und geben in wenigen Minuten die verhältniſsmäſsig groſse Wassermenge. So erhielt v. Humboldt während 6 Minuten das Maximum der in einer bestimmten Zeit herabfallenden Wassermenge von 4,5 Linien[2]. In der Mission San Antonio de Javita in Guiana unter 0^b bis 3° N. B. dagegen regnet es fast das ganze Jahr, weil der Wind keine trocknen Luftströme herbeiführt, und die Missionäre versicherten, daſs es zuweilen fünf Monate ohne Unterbrechung regne. Bei gewöhnlichem Regnen betrug die Menge des herabfallenden Wassers am ersten Mai in 5 Stunden 21 Lin., am dritten Mai in 3 Stunden 14 Linien[3]. Auch zu San Carlos fielen an verschiedenen Tagen in 2 Stunden 7,5 Lin., in 3 Stunden 18 Lin., in 9 Stunden 48 Lin., und so schätzt v. Humboldt[4] die jährliche Regenmenge auch dort auf 90 bis 100 Zoll, zu Vera-Crux aber beträgt sie 62 Zoll 2 Linien.

c) Von der Höhe abhängige Menge des Regens.

Betrachtet man die Regentropfen als entstanden aus dem Dampfe der Atmosphäre durch Abkühlung der Luft und setzt man voraus, daſs dieser Niederschlag gleichzeitig in einer Schicht der Atmosphäre von bedeutender Dicke statt finde, so müssen unter der Voraussetzung einer länger als die Fallzeit von der obersten Höhe herab dauernden Ausscheidung dieser

1 Aus Annaes das Sciencias, das Artes e das Letras. T. XVI. p. 54. in v. Humboldt Reis. D. Ueb. Th. V. S. 270.

2 Eb. Th. V. S. 716.

3 Eb. Th. IV. S. 216.

4 Eb. Th. IV. S. 301.

Digitized by Google

Art die von der obersten Grenze derselben herabfallenden Tropfen an Zahl und Gröſse durch die in gröſserer Tiefe erzeugten Niederschläge vermehrt werden, und stiege man also während eines Regens zu gröſserer Höhe aufwärts, so müſste man eine Abnahme der Stärke des Regens wahrnehmen. Es ist mir nicht bekannt, daſs eine solche Beobachtung wirklich gemacht worden sey, auſser zufällig durch mich selbst[1]. Ich befand mich nämlich mit einer Gesellschaft im Juli 1806 auf dem Brocken, und weil am Morgen ein so dichter Nebel fiel, daſs das Dach davon träufelte, der Wirth aber an baldigem gutem Wetter zweifelte, so entschlossen wir uns, nach Clausthal herabzusteigen. Unser Führer eilte, und wir wählten daher die gerade Richtung vom Berge herab, in der Hoffnung, den verlassenen Weg wiederzufinden, befanden uns aber am Fuſse der Kuppe im stärksten Regen und bei mangelnder Aussicht ganz auſser Stande, unsere Richtung im Walde beizubehalten, weswegen wir uns zur Vermeidung gröſserer Gefahr entschlossen, wieder in die Höhe zu steigen und den rechten Weg dann nicht zu verlassen. Es war sehr überraschend, wie die Stärke des Regens von da an stets ebenso abnahm, als sie vorher zugenommen hatte, und wir fanden oben noch den nämlichen dichten Nebel, welchen wir vor etwa zwei Stunden dort verlassen hatten; nach einigen Minuten stiegen wir abermals den Berg hinab und fanden die Stärke des Regens auf gleiche Weise zunehmend, als beim ersten Herabsteigen. Die lothrechte Höhe der zurückgelegten Strecke mochte ungefähr 1000 Fuſs betragen; oben war der Nebel zwar sehr stark, jedoch erkannte man keine eigentlichen Tropfen, vielmehr wurden diese erst in einer Tiefe von etwa 200 Fuſs sichtbar, ganz unten war aber der Regen so stark, daſs auch dort keine einzelnen Tropfen wahrgenommen wurden, sondern zusammenhängende Wasserstrahlen herabzuströmen schienen.

Zuerst scheint Dr. Heberden[2] diesen von der Höhe abhängenden Unterschied beobachtet zu haben, indem die mo-

---

1 Die umständliche Erzählung der an sich unwichtigen Thatsachen dient zum Beweise, daſs selbst heftige Regenschauer oben in bloſsen Nebel übergehn, und vermuthlich war auch damals noch etwa 1000 Fuſs höher völlig heiterer Himmel.

2 Phil. Trans. LIX. p. 361.

Digitized by Google

natlichen Regenmengen sich auf der Kirche der Westminster-Abtei, auf einem Hause daneben und noch 15,5 Fuſs tiefer wie 5:8:10 verhielten, auf einem Berge in North-Wales aber auf dem Gipfel und am Fuſse binnen 4 Monaten wie 8,165:8,766. Die letztere Beobachtung ist auſserwesentlich, da zur genauen Bestimmung zwei nicht weit von einer verticalen Linie abstehende Regenmaſse erfordert werden. Nach Percival's[1] Untersuchungen haben Franklin, de Luc, Cavendish u. a. eben diese Beobachtung gemacht, indem unter andern zu Liverpool zwei Regenmesser in Höhen, welche um 16 Yards von einander verschieden waren, ohne alle fremdartigen Einflüsse nach einem Regen 13,5 und 27 Unzen Wasser, ein anderesmal beim Schnee 3 und 5 und wiederum bei windstillem Schneewetter das obere nur halb so viel als das untere gaben. Dalton[2] verglich in den Jahren 1797 und 1798 zwei Regenmesser zu Manchester, den einen 50 Yards hoch auf der Spitze des Johannisthurms, den andern nicht weit über dem Boden, und fand im Sommer das Verhältniſs 2 zu 3, im Winter 1 zu 2. Zu Penzanze[3] erhielt man während eines Jahrs am Boden 46,08 und in einer Höhe von 45 Fuſs 30,47 engl. Zoll, zu Portsmouth[4] 3 Fuſs über dem Boden 37,647 und in 23 Fuſs Höhe 35,750 engl. Zoll, und Luke Howard[5] verglich zu Plaistow vom 24. Oct. bis zum 12. Nov. 1811 zwei Regenmesser, bei denen die Höhendifferenz 43 Fuſs ausmachte, und erhielt im untern 3,73, im obern dagegen 2,82 Zoll. Eben so beweisend sind die Beobachtungen von Bugge[6], welcher ein Hyetometer auf ebener Erde und ein anderes 120 F. höher aufstellte, wovon während 4 Jahren das erstere im Mittel jährlich 27,32, das letztere 21,21 Zoll Regenwasser gab. Boase[7] erhielt in Cornwallis aus einem 45 Fuſs hoch an ei-

1 Literary, moral and medical Works. Bath 1807. T. III. u. IV. G. XXXI. 87.

2 Manchester Mem. T. V. p. 669. G. XV. 200.

3 Annals of Philos. 1822. July.

4 Philos. Magaz. 1823. Mai.

5 Nicholson Journ. of nat. Phil. 1812. Febr., daraus in Bibl Brit. und G. XLI. 417.

6 Nye Saml. af det Danske Vidensk. Selsk. Skr. T. V. p. 227. Ueber d. gröſsere Menge des Regens auf niedrigern Stellen u. s. w. übersetzt von Scheel und Degen. Kopenh. 1795. 8.

7 Ann. of Phil. N. Ser. IV. p. 19.

nem Hause angebrachten Regenmaſse jährlich 30,475 engl. Zoll, aus einem andern auf ebener Erde dagegen 46,08 engl. Zoll. Das Verhältniſs ist sehr nahe wie 4:5, inzwischen habe ich hier in Heidelberg für einen gleichen Höhenunterschied nach mehrjährigen Beobachtungen ungefähr das Verhältniſs von 5:6 gefunden. Am vollständigsten ist die Thatsache durch die vieljährigen genauen Messungen in Paris begründet, woselbst zwei Regenmaſse, das eine im Hofe der Sternwarte, 3 Meter über dem Boden, das andere 28 Meter höher auf der Terrasse, mit einander verglichen werden. Um ein genähertes Mittel zu erhalten, stelle ich die Resultate folgender Jahre zusammen[1];

Jahr	1818	oben	43,197	unten	51,759	Centimeter
—	1819	—	61,524	—	68,919	—
—	1820	—	38,128	—	42,542	—
—	1821	—	58,433	—	64,567	—
—	1822	—	42,319	—	47,750	—
—	1823	—	45,679	—	41,817	—
—	1824	—	56,752	—	65,181	—
—	1825	—	46,882	—	51.933	—
—	1826	—	40,955	—	47,209	—
—	1827	—	50,098	—	57,585	—
—	1828	—	58,535	—	62,565	—
—	1829	—	55,975	—	58,889	—
—	1830	—	57,300	—	64,435	—
	Jährlich	—	50,444	—	56,55	—

welches unten ungefähr $\frac{1}{8}$ mehr giebt, als oben.

Die hiernach wohlbegründete Thatsache wird von keinem Physiker in Abrede gestellt, wohl aber die Erklärungsart derselben. Boase[2] hält es allerdings aus theoretischen Gründen für nothwendig, daſs die Regenmenge unten gröſser sey als oben, weil der Niederschlag in der Atmosphäre durch die ganze Höhe der hierbei thätigen Luftschicht statt finde, glaubt aber zugleich den sehr bedeutenden Unterschied zum Theil dem Einflusse des Windes beilegen zu müssen, Flauger-

1 Aus Ann. de Chim. et Phys. IX. 430. XII. 422. XV. 417. XVIII. 410. XXI. 390. XXIV. 427. XXVII. 398. XXX. 396. XXXIII. 401. XXXVI. 390. XXXIX. 399. XLII. 340. T. XLV, 390.

2 Ann. of Phil. N. S. IV. p. 19.

gues[1] aber führt den ganzen Unterschied auf die Einwirkung des Winds zurück, welcher die Regentropfen seitwärts treiben und hierdurch dem Meſswerkzeuge eine geringere Menge zuführen soll, die demnach in gleichem Verhältnisse abnehmen müsse, als die Heftigkeit des Winds mit der Höhe zunimmt. Eben dieses Argument sucht Schübler[2] gleichfalls geltend zu machen, und auſserdem aus der Erfahrung zu beweisen, daſs ohne diesen Grund die Regenmengen in der Tiefe vielmehr geringer seyn müssen, weil die herabfallenden Tropfen durch Verdunstung in den untern Luftschichten an Masse kleiner werden sollen. Es gaben nämlich die Messungen im Jahre 1821 an drei Orten von ungleicher Höhe folgende Resultate[3].

1821 Monat.	Tübingen 1000 F.	Schaichhof 1576 F.	Alp Genkingen 2400 F.
Januar	203	273	253
Februar	66	89	200
März	415	533	792
April	113	261	466
Mai	317	308	535
Juni	425	198	471
Juli	473	593	688
August	564	475	624
September	459	452	736
October	100	111	123
November	128	212	188
December	249	351	437
Total	3512	3856	5513

Die letztgenannte Thatsache beweist jedoch gar nichts, da die Regenmengen an zwei verschiedenen, wenn gleich nicht weit von einander entfernten Orten merklich verschieden seyn kön-

1 Bibl. univ. T. VIII. p. 127. Ann. of Phil. T. XIV. p. 113.

2 Schweigger's Journ. N. F. IV. 330. Wiederholt VIII. 178 u. a. a. O.

3 Auf dem Schaichhof wurde im Januar nicht beobachtet, ich habe aber diese Gröſse nach der zu Tübingen erhaltenen Zahl und dem Verhältnisse beider Orte im Februar supplirt, was mindestens nahe richtig seyn wird.

nen, dagegen aber hat Arago[1] in den beiden Regenmaſsen zu Paris auch bei gänzlicher Windstille den nämlichen Unterschied beobachtet und auſserdem macht er die gegründete Bemerkung, daſs in dem Falle, wenn der Wind den Regen seitwärts treibe, ein schräger Cylinder in das Regenmaſs falle, welcher bei gleichem Flächeninhalte und bei gleicher lothrechter Höhe mit dem lothrechten gleichen Inhalt habe, so daſs also diese Ursache überall die angenommene Wirkung nicht haben könne, welchen Einwurf auch Meikle[2] gemacht hat. Arago[3] tritt dagegen der Ansicht bei, daſs die Gröſse der Regentropfen in der untern Atmosphäre an Volumen zunehmen müsse, auch wenn das Hygrometer daselbst keine absolute Feuchtigkeit zeige, weil nach den Beobachtungen von Boisgiraud diese Tropfen stets kalt sind und also den expandirten Wasserdampf anziehn. Hierdurch wird übrigens die Sache genügend erklärt, Arago[4] macht jedoch die Bemerkung, daſs dann die gröſsere Regenmenge dem mehr hygrometrischen Zustande der untern Luftschichten proportional seyn müſste. Inwiefern dieses gegründet ist, wenn es sich anders nicht bloſs auf die vermeintliche Trockenheit der obern Atmosphäre, sondern vielmehr auf den vermittelst des Hygrometers auszumittelnden Wassergehalt der Luft bezieht, müſste in einzelnen Fällen durch eine Vergleichung der Unterschiede der Regenmengen mit denen der hygrometrischen Beschaffenheit und der Temperaturen beider Luftschichten ausgemittelt werden, was jedoch bei der fortdauernden Bewegung der Atmosphäre kaum im Bereiche der Möglichkeit zu liegen scheint.

In welchem Verhältnisse die Regenmengen mit den Höhen abnehmen, ist theoretisch eben so wenig bestimmbar, als die eben erwähnte Aufgabe, auch ergiebt sich aus den wenigen mitgetheilten Erfahrungen, daſs nicht bloſs an verschiedenen Orten, sondern auch an den nämlichen, aber in verschiedenen Jahren und Jahreszeiten, ein ungleiches Verhältniſs statt findet. Dürfte man die Unterschiede der Regenmen-

1 Ann. Chim. et Phys. XVIII. 410.
2 Ann. of Philos. T. XIV. p. 212.
3 Ann. Ch. Phys. XXXIII. 417.
4 Ann. Chim. et Phys. XXVII. 399.

Digitized by Google

gen den Höhen direct proportional annehmen, so lieſse sich aus dem für Paris gefundenen Verhältnisse, wonach 28 Meter ungefähr $\frac{1}{9}$ geben, die Folgerung ableiten, daſs die mittlere Höhe der Regenwolken etwa $9 \times 28 = 252$ Meter oder 760 Fuſs betrüge, eine interessante, jedoch zu wenig begründete Folgerung, die auf jeden Fall keine allgemeine Anwendung leidet, denn unter andern fand v. Humboldt[1] aus einer Vergleichung der Regenmengen zu Guayaquil an den Küsten der Südsee und zu Quito auf einer Höhe von 1492 Toisen, daſs dieselbe am letztern Orte nur ungefähr den dritten Theil so viel als am erstern betrug.

Die Unterschiede sind jedoch auch in den verschiedenen Monaten nicht gleich. Kämtz[2] stellt die pariser Beobachtungen von 1818 bis 1826 zusammen und findet hieraus für die einzelnen Monate

Monat.	Terrasse	Hof.	Unters.	Monat.	Terrasse	Hof.	Unters.
Jan.	3,018	3,622	0,167	Juli	3,625	3,825	0,052
Febr.	3,056	3,757	0,187	August	3,893	4,192	0,071
März	3,662	4,383	0,164	Sept.	4,786	5,097	0,061
April	3,762	4,165	0,097	October	4,617	5,405	0,146
Mai	6,188	6,756	0,034	Nov.	3,993	4,871	0,180
Juni	3,894	4,150	0,061	Dec.	3,903	4,601	0,152

Hieraus ergiebt sich, daſs für Paris das Verhältniſs der Unterschiede im Sommer geringer ist, als im Winter, worauf sich die bereits erwähnte Bemerkung von Arago bezieht, daſs in Folge der im Sommer herrschenden gröſsern Wärme und des hierdurch bedingten hygrometrischen Zustands der Atmosphäre gerade das Gegentheil statt finden müsse. Dennoch aber ist die bereits angegebene Ursache, nämlich daſs die herabfallenden kalten Tropfen den aus den untern Luftschichten niedergeschlagenen Wasserdampf aufnehmen, die einzige, auf welche die Erklärung des Phänomens gegründet werden muſs, wie Hamilton[3] zuerst annahm, wobei jedoch die gleichzeitig mitwirkenden sonstigen Bedingungen nicht übersehn werden dürfen. Es kommt nämlich sehr auf den hygrometrischen Zustand der untern Luftschichten an, da sich

1 Reisen. D. Ueb. Th. IV. S. 301.
2 Meteorologie u. s. w. Th. I. S. 418.
3 Phil. Trans. 1765. p. 163.

ein Grad der Trockniſs bei diesen annehmen läſst, vermöge dessen sie allerdings den hindurchfallenden Tropfen Wasser durch Verdunstung entziehn, und wirklich behauptet Dr. Copland[1] diesem gemäſs wahrgenommen zu haben, daſs es ein Vorzeichen bald wiederkehender Heiterkeit sey, wenn das untere Regenmaſs sogar weniger Wasser enthalte, als das obere. Hiernach fällt dann auch der anscheinende Widerspruch von selbst weg, welcher aus dem in die Wintermonate fallenden gröſsern Verhältnisse der Differenzen beider Regenmengen zu Paris zu folgen scheint, denn auch die absoluten Regenmengen sind dort, mit Ausnahme des einzigen Monats Mai, im Sommer kaum gröſser als im Winter, was auf einen geringen Feuchtigkeitszustand der Atmosphäre in der erstern Jahreszeit deutet, und dieser letztere führt dann wieder auf die zur Begründung der Theorie des Hagels bereits gemachte Bemerkung, daſs im Sommer die über dem Erdboden stärker erhitzten Luftschichten nach pneumatischen Gesetzen schneller und höher aufsteigen müssen, die demnach den Wasserdampf fortführen, so daſs der gerade in der Umgegend von Paris so leicht stark austrocknende Boden den untersten Luftschichten keinen bedeutenden Grad der Feuchtigkeit mehr mittheilen kann.

d) Einfluſs der geographischen Breite auf die Regenmenge.

Wird der Regen als ein Niederschlag des in der Atmosphäre befindlichen Wasserdampfs betrachtet, so muſs er so viel reichlicher seyn, je dichter der letztere ist, und da die Dichtigkeit des Wasserdampfs bloſs von der Temperatur abhängt, sobald Wasser genug zu seiner Bildung vorhanden ist, so muſs die Regenmenge in einem gewissen Verhältnisse mit der gröſsern Wärme der verschiedenen Orte wachsen. Die zum Messen dienenden Werkzeuge geben jedoch nicht bloſs das als wirklicher Regen herabfallende Wasser an, sondern auch das in gefrornem Zustande aufgenommene, und auch dieses bringt man mit in Rechnung, wenn es sich um die Bestimmung der Regenmenge an irgend einem Orte handelt; in-

1 G. XXXI. 92.

zwischen findet die aufgestellte Regel auch in Beziehung auf das Product der gesammten Hydrometeore statt. Ist dagegen bloſs vom Regen die Rede, so ist nicht leicht anzugeben, unter welchen höhern Breiten derselbe ganz fehlt, jedoch wird man die Grenze desselben annähernd etwas über die Isotherme von — 5° C. setzen können; denn wenn auch unter den dieser zugehörigen Breiten an mehrern Tagen die Temperatur über den Gefrierpunct des Wassers hinausgeht, so ist dieses doch selten oder nie bei trübem Wetter der Fall. Daſs die Grenze des wirklichen Regens noch über die genannte Isotherme hinausgehe, beweist eine Beobachtung von Parry[1], welcher am 8. Aug. 1827 unter 82° N. B. einen anhaltenden Regen von 36 Stunden und darunter 24 Stunden bedeutend stark erlebte. Dort reicht indeſs die Isotherme von — 5° bis zum 80sten Grade N. B.

Bei den Untersuchungen der Regenverhältnisse unter ungleichen geographischen Breiten kommt insbesondere der Unterschied der periodischen und der unregelmäſsigen Regen in Betrachtung. In den nördlicher gelegenen Gegenden sind die Regen im Allgemeinen an keine bestimmte Zeit gebunden und es giebt auf gleiche Weise willkürlich wechselnde nasse als trockne Monate, indem es dem Anschein nach regellos bald mehr bald weniger regnet und in längern oder kürzern Zwischenzeiten wieder groſse Trockenheit eintritt. Zwar pflegen zur Zeit der Nachtgleichen länger anhaltende sogenannte Landregen zu herrschen, deren Dauer man auf 24 oder 36, selbst 48 Stunden und darüber, annehmen kann, statt daſs im Sommer kürzere, aber zugleich weit stärkere Gewitterschauer gewöhnlich sind, dessenungeachtet aber giebt es in allen Monaten anhaltende Regen, die mit einer länger oder kürzer dauernden Trockenheit abwechseln. Ungleich gröſsere Regelmäſsigkeit, an manchen Orten eine unwandelbar bestimmte und nur seltene Ausnahmen erleidend, herrscht unter der äquatorischen Zone. Sind gleich unsere Kenntnisse hierüber nur höchst mangelhaft, so lassen sich doch folgende Bestimmungen als aus den Beobachtungen entnommen ansehn.

Zuvörderst giebt es einige Gegenden, wo es gar nicht

1 Account of an attempt to reach the North-Pole cet. Lond. 1828. 4. p. 115.

Digitized by Google

regnet. In Aegypten gehört das Regnen so sehr unter die Seltenheiten, daſs schon nach Herodot's Zeugnisse diese Erscheinung, wenn sie zufällig einmal statt fand, besonders aufgezeichnet zu werden pflegte. Zu Ambukol, unfern Dongola in Aegypten, fanden 1823, und 1824 ungefähr eben so, nur 5 Regenschauer statt [1], in Tatta am östlichen Ufer des Indus fiel drei Jahre hindurch kein Regen [2], auf den canarischen Inseln fehlt er oft zwei Jahre hindurch gänzlich [3], zum Beweise, daſs sich die eigentlichen tropischen Regen bis dorthin nicht erstrecken oder daſs sie mindestens dort durch eigenthümliche Luftströmungen aufgehoben werden. Auch Syrien galt von jeher für sehr trocken [4], eben so fehlt der Regen gänzlich in Fezzan [5] und in Lima ist die Erscheinung völlig unbekannt [6]. Auch zu Cumana, La Guayra und auf der benachbarten Margarethen-Insel fallen bloſs im October und November einige Regentropfen [7]. In Cumana erhält man oft neun Monate lang vom December bis zum September keine zwei Zoll hoch Regenwasser, gleiche Trockniſs herrscht zu Punta-Araya, und selbst in der brasilischen Provinz Ciara fällt zuweilen mehrere Jahre lang, z. B. 1792 bis 1796, gar kein Regen [8]. Auf dem Küstenstriche von Peru regnet es überall niemals und bloſs einige Zeit im Jahre ist die Sonne blaſs durch Dünste [9].

In den meisten Gegenden der äquatorischen Zone zerfällt das Jahr in zwei Abschnitte, die Regenzeit und die Zeit der gänzlichen Dürre. So bekannt dieses im Allgemeinen ist, so besitzen wir dennoch nur von wenigen Orten eine genaue Beschreibung des eigenthümlichen Charakters der Regenzeit und des gesammten Verhaltens der periodischen tropischen Regen, und v. Humboldt [10] war auch in diesem Stücke der erste,

---

1 Rüppel Reise. S. 75.
2 Kämtz Meteorol. I. 428.
3 L. v. Buch in Berlin. Denkschr. 1820 u. 21. S. 108.
4 Herodot. I. c. 193. Vergl. II. c. 25.
5 Proceedings of the Soc. for prom. geogr. Kn. T. I. 93.
6 Azara Reisen. D. Ueb. S. 12.
7 V. Humboldt Reis. D. Ueb. III. 348.
8 Ebend. Th. V. S. 717.
9 Ebend. Th. IV. S. 301.
10 Ebend. D. Ueb. Th. III. S. 346 ff. Ausführlicher in Ann. Chim. et Phys. VIII. 179. Daraus in Schweigger's Journ. XXIV. 71.

Digitized by Google

welcher genauere Nachrichten hierüber mittheilte. Die Indianer bezeichnen die beiden Abtheilungen des Jahrs durch den Ausdruck: *Sonne* und *Regen*. Der Uebergang beider Perioden ist nicht zufällig, sondern zeigt, wie das ganze meteorologische Verhalten in der Aequinoctialzone, eine bewundernswürdige Regelmäſsigkeit. Im americanischen Binnenlande östlich von den Cordilleren von Merida und Neu-Granada, in den Llanos von Venezuela und vom Rio Meta, vom 4. bis 10. Grade N. B. ist der Himmel vom December bis Februar so vollkommen heiter, daſs auch das geringste Wölkchen die gröſste Aufmerksamkeit der Bewohner erregt. Gegen Anfang März zeigt sich der Himmel minder dunkel, die Sterne erscheinen weniger hell und hygroskopische Substanzen zeigen Spuren gröſserer Feuchtigkeit der Atmosphäre, der beständige NO.-Wind (die *Brise*) wird durch Windstillen unterbrochen und es sammeln sich Wolken in SSO., die sich zuweilen vom Horizonte loszureiſsen scheinen und dann mit unglaublicher, der schwachen Bewegung der untern Luftschichten keineswegs angemessener Geschwindigkeit die obern Regionen des Himmels durchlaufen. Am Ende des März gewahrt man zuweilen gen Süden kleine elektrische Explosionen, wie phosphorische, auf eine einzige Dunstgruppe beschränkte Funken, es treten mehrere Stunden anhaltende West- und Süd-West-Winde ein und diese sind sichere Vorzeichen der beginnenden Regenzeit, die am Oronoko gegen Ende Aprils anfängt. Gleichzeitig erreicht die Hitze den höchsten Grad, die Luftelektricität, die sonst regelmäſsig positiv zu seyn pflegt, verschwindet und geht zuweilen in negative über und täglich herrschen Gewitter von den heftigsten Regengüssen begleitet. Es ist jedoch ein falsches Vorurtheil, wenn man glaubt, diese Regen dauerten ganze Tage oder Wochen ohne Unterbrechung, vielmehr vergeht kaum oder nie ein Tag, wo nicht die Sonne wieder hervorkommt und die Hitze bei gröſster Feuchtigkeit der Luft einen unausstehlichen Grad erreicht. In der angegebenen Gegend erfolgt das Aufsteigen der Gewitter in der Regel zwei Stunden nach Mittag, höchst selten hört man den Donner am Morgen oder während der Nacht und

---

Allgemeine Angaben über die starken periodischen Regen finden sich allerdings in vielen, auch älteren Reisebeschreibungen.

Digitized by Google

Nachtgewitter sind nur gewiſsen Fluſsthälern eigen, die ein besonderes Klima haben; ebenso hört auch der Regen gegen Abend auf, da er gleich nach dem Anfange der Gewitter die gröſste Heftigkeit erreicht. Gleichzeitig hören die regelmäſsigen NO.-Winde auf oder wechseln mit den SW.-oder SO.-Winden, *Bendavales*, die in einigen Gegenden sich als heftige Stürme zeigen.

Der hier angegebene Charakter ist im Allgemeinen den periodischen Regen eigenthümlich, die mit einigen Verschiedenheiten auf beiden Seiten des Aequators bis zu den Wendekreisen herrschen[1]. In der Bai von Biafra unterhalb des Caps Formosa fängt die Periode der heftigen Stürme, der *Tornado's*, schon in der ersten Hälfte des Februar an und endigt in der Mitte des März, worauf die Regenzeit beginnt, die bis zur Mitte des Mai fortdauert. Auf diese folgen Nebel, bis ans Ende des Monats, die jedoch minder dicht sind, als in der Baï von Benin, es tritt dann heiteres Wetter ein, dauert bis zur Mitte Septembers bloſs durch leichte Nebel unterbrochen fort, worauf dann die zweite, ungleich heftigere, Regenzeit anfängt, die bis Ende Octobers dauert. Nach dieser fängt wieder heiteres Wetter an, dort die schönste und angenehmste Jahreszeit, bis zum Wiederanfange der Frühlings-Tornado's, die zwar eigentlich der Regenzeit vorangehn, nicht selten aber während ihrer ganzen Dauer herrschen[2].

Uebereinstimmend hiermit beschreibt Christie[3] die periodischen Regen in Darwar. Dort ist der SW.-Wind die herrschende Brise, aber die Regenwolken werden durch östliche Winde herbeigetrieben. Einige heftige Gewitter, ausgezeichnet durch die Stärke der elektrischen Explosionen, fallen zwar schon in den April und Mai, aber die eigentlichen periodischen Regen beginnen erst im Juni oder im Anfange des Juli. Dann wehn die südwestlichen regelmäſsigen Winde zwar Vormittags, allein zwischen drei und fünf Uhr Nachmittags thürmen sich im Osten dunkle Wolken auf, bewegen sich unablässig

---

1 Condamine Journal d'un Voyage à l'Équateur. Par. 1751.

2 Ann. of Phil. 1823. Mai. p. 360. Vergl. Art. *Klima*. Bd. V. S. 871.

3 Edinb. New Phil. Journ. N. X. p. 300.

Digitized by Google

dem Winde entgegen, überziehn den Himmel mit einer dichten schwarzen Masse, werden von häufigen Blitzen durchfurcht und erst, wenn sie ganz nahe gekommen sind, setzt sich der Wind plötzlich nach O. um und treibt die Wolken herbei, die dann ihr Wasser, oft mit Hagel vermischt, ausschütten. Der Wind wird demnächst veränderlich, bläst aus allen Richtungen, endlich gewinnt der westliche wieder die Oberhand und das heitere Wetter kehrt mit ihm zurück.

Die tropischen Regen unterscheiden sich also von den unregelmäſsigen unter höhern Breiten vornehmlich durch ihren periodischen Wechsel, indem sie jährlich zu bestimmten Zeiten wiederkehren, und zwar geht aus den mitgetheilten Angaben schon hervor, daſs sie nur einmal in jedem Jahre, oder auch zweimal eintreten, in welcher Beziehung als Regel anzunehmen ist, daſs sie unter dem Aequator zweimal im Jahre, an der Grenze der Wendekreise nur einmal wiederkehren, zwischen diesen beiden Grenzen aber allmälig aus einer doppelten zu einer einfachen Periode übergehn. Ein hauptsächlicher Unterschied derselben zeigt sich ferner darin, daſs sie in der Regel nur bei Tage statt finden, indem die Sonne meistens heiter auf- und untergeht[1]; auch geben sie im Ganzen eine bei weitem stärkere Regenmenge, als diese unter mittlern und höhern Breiten zu seyn pflegt, obgleich aus den bereits mitgetheilten Thatsachen hervorgeht, daſs ausnahmsweise auch an Orten der gemäſsigten Zone die Regenmengen während einer kürzern Zeit gröſser sind, als die gewöhnlichen in den Tropenländern. Eine gröſsere Gewalt der begleitenden Stürme, als derjenigen, die unter mittlern und höhern Breiten mit schweren Gewittern verbunden zu seyn pflegen, läſst sich wohl nicht als Regel annehmen, jedoch übersteigen sie ausnahmsweise alles dasjenige, was die Erfahrung in unsern Gegenden hierüber darbietet. Beispiele solcher Orkane werden bei der Untersuchung der Winde vorkommen, in Beziehung auf die Regenmengen aber betrug nach Tuckey[2] die Höhe des am 12. Mai 1816 unter 2° 30′ N. B. auf sein Schiff fallenden Wassers während 3 Stunden 3 Z. 1 Lin. Viele sonstige Angaben

1 Spix und Martius Reise. Th. I. S. 74. Durch Kämtz erwähnt in seiner Meteorologie Th. I. S. 424.

2 Ann. Ch. et Phys. XXVII. 407.

Digitized by Google

laſsen auf gleiche und mitunter noch gröſsere Mengen ſchlieſsen; jedoch fehlen dabei die eigentlichen Meſsungen.

Der angegebene allgemeine Charakter der periodiſchen Regen, nämlich daſs ihnen leichte Wolken und Nebel vorausgehn und daſs ſie mit einer Aenderung des ſonſt beſtändigen Winds beginnen, zeigt ſich überall. Am Südrande der Sahara und an der Küſte Sierra-Leona geht der NO.-Wind in SW. über[1] und es erfolgt bloſs eine kurze Unterbrechung der Regen, wenn N.- oder W.-Wind eintritt[2]. Eben ſo läſst ſich als Regel annehmen, daſs die periodiſchen Regen dann anfangen, wenn die Sonne in den Parallelkreis des Beobachtungsorts eintritt, woraus dann zugleich die Beſtimmung der einfachen oder doppelten Periode und des Anfangs der Regenzeit folgt. In Africa unter dem Aequator bis zur Goldküſte beginnt ſie daher nach der oben mitgetheilten Angabe ſchon in der Mitte des März; ebenſo in der Gegend der Bai von Benin und am Cap St. Paul; von der Sierra-Leona bis Cap Apollonia, wo die Regen ſich durch ihre Heftigkeit vorzüglich auszeichnen, in der Mitte Aprils[3], in Guinea Anfang Mais[4]; an der Sierra-Leona-Küſte im Mai[5], am Senegal oder überhaupt von 12° N. B. bis zum Wendekreiſe im Anfange des Monats Juni[6], in Dar-Fur um die Mitte dieſes Monats[7], ebenſo auf dem nördlichen Theile der Mandingo-Terraſse nach Mungo-Park[8], ſtatt daſs ſie in Bornu ſchon in der Mitte des Mai[9] und in Gondar ſelbſt in den erſten Tagen des März[10] anfängt. In Calcutta beginnt die Regenzeit mit Anfang des Juni, in Luknow um die Mitte dieſes Monats[11], auf Java aber im October, wird anhaltender im

1 Mungo Park Travels p. 147. Denham Narrative. p. 207. Browne Travels p. 281.

2 Proceedings. I. p. 199.

3 Marwood Kelly in Ann. of Phil. 1823. Mai. p. 360.

4 Mollien Voyage dans l'Intérieur de l'Afrique. Par. 1820. II vol. 8.

5 Winterbottom Nachrichten von d. Sierra-Leona-Küſte. S. 35. Nach Kämtz Meteorologie I. 425.

6 Golberry Fragmens cet. T. I. p. 225.

7 Browne Travels p. 254.

8 Travels p. 167.

9 Denham Narrative. p. 197. 314.

10 Bruce Reis. Th. III. S. 663.

11 Valentia Reiſe. I. 175.

Digitized by Google

November und December und hört allmälig bis zum März hin auf[1]. Wenn aber die Reisenden vom Anfange und vom Ende der Regenzeit reden, so ist hierunter oft der Anfang der ersten und das Ende der letzten beider Regenperioden zu verstehn. Uebrigens wird hieraus erklärlich, warum die Verzeichnisse der Regenmengen an Orten der Aequinoctialzone nur einige Monate umfassen, dann aber dennoch für ganzjährliche dienen.

Aus den mitgetheilten Betrachtungen geht hervor, daſs die periodischen Regen durch den Stand der Sonne bedingt werden, und hieraus würde also folgen, daſs die Wendekreise auf beiden Seiten der heiſsen Zone ihre Grenze bildeten, wenn die angegebne Ursache die einzige dabei wirksame wäre; weil aber noch andere demnächst zu erwähnende Ursachen von wesentlichem Einflusse sind, so erstrecken sie sich in verschiedenen Gegenden bis zu ungleichen Breitengraden, und wechseln an den einzelnen Orten mit mehr oder minder vollständiger Trockenheit, bis sie zuletzt in die zu bestimmten Zeiten mit einiger Regelmäſsigkeit wiederkehrenden starken Regengüsse übergehn, dabei aber ihren eigentlichen Charakter allmälig verlieren. An den so eben angegebenen Orten sind die nassen Jahreszeiten von den trocknen scharf geschieden, dasselbe ist der Fall zu Bombay, wo nach einem zehnjährigen Register die Regenzeit bloſs vom Juni bis zum October dauert und wo es namentlich im Jahre 1827 vom 9. Juni bis zum 20. Sept. mit Ausnahme des 11. und 30. Juni, des 1. und 27. Juli täglich regnete[2]. An der Goldküste dauert die Regenzeit vom Mai bis August, während welcher Zeit die Tornado's zuweilen wehn, und dann folgt noch im November eine kleine Regenzeit, übrigens aber herrscht vollkommene Dürre[3]. In der Sahara[4] erstrecken sich die periodischen Regen nur bis zum 16. Grade N. B., in Beheda zeigen sie sich noch unter 17° N. B. mit ziemlicher Regelmäſsigkeit[5], in Nubien[6] reichen sie bis zum 19. Grade N. B., zu Bancoorah in Bengalen aber,

1 Raffles History of Java. T. I. p. 30.
2 Edinb. Journ. of Science. XIX. 141.
3 Monrad Gemälde der Küste von Guinea. Weim. 1824. 8.
4 Bruce Reisen. I. 264.
5 Rüppel Reise. S. 99.
6 Ehrenberg in Poggendorff Ann. XV. 360.

Digitized by Google

ungefähr unter dem Wendekreise, erhielt G. Macritchie[1] im Juni über 7, im Juli über 8, im August über 5, im September über 7, im October 3, im März gar keinen, im Jan., Febr., April und Mai im Ganzen nur etwas über 0,5 Zoll Regenwasser.

Daſs der periodische Charakter der Regen bei zunehmender geographischer Breite allmälig schwinden müsse, versteht sich von selbst, und daher finden wir ihn in diesem verminderten Grade noch zu Funchal auf der Insel Madeira. Hier erhielt Heineken[2] im Jahre 1827 im Januar 2,86, im Febr. 2,62, im März gar keinen, im April 2,19, im Mai keinen, im Juni 0,16, im Juli und August keinen, im Sept. 0,15, im Oct. 3,24, im November 6,95 Zoll und im Dec. wieder gar keinen Regen. Im Jahre 1828 aber erhielt er im Januar 4,08, im Februar 1,64, im März 1,68, im April 3,85, im Mai 2,14, im Juni 0,21, im Juli nur 0,1 und im August gar keinen, im September 1,39, im October keinen, im November 2,56 und im December wieder nur 0,52 Zoll. Der Regen hat demnach eine Frühlings- und eine stärkere Herbst-Periode, im Ganzen ist aber seine Menge nicht bedeutend, wie aus den später namhaft zu machenden Bedingungen leicht erklärlich wird, und eben so wechselnd, als vielleicht überall auf der ganzen Erdoberfläche, denn das Jahr 1825 gab nur 20,43 Z., das Jahr 1826 dagegen 43,35 Z., das genannte Jahr 1827 aber 18,17 Z. und 1828 nur 17,67 Zoll, also im Mittel aus allen vieren 24,9 Zoll. Ein ganz ähnliches Verhalten treffen wir auf der südlichen Halbkugel unter fast ganz gleicher Breite (33° 48′ S. B.) zu Paramatta in Neu-Süd-Wales, wenn anders die nur ein Jahr umfassenden Beobachtungen Brisbane's[3] als genügende Grundlage dieser Behauptung dienen können. Auch dort fiel in den Monaten Mai, Juni, Juli und August des Jahrs 1822 gar kein Regen, der September bleibt unerwähnt, dann aber im October 3,413, im November 0,516, im December 5,235, dann im Januar des folgenden Jahrs 1,092, im Februar 5,261, im März 6,660, im April 7,215 und im Mai 0,556 engl. Zoll, also im Ganzen 29,948 englische oder 28,1 französische Zoll.

1 Edinb. New Phil. Journ. N. XXVIII. 230.
2 Edinb. Journ. of Sc. N. XIX. p. 73. New Ser. N. I. p. 34.
3 Edinb. Phil. Journ. N. XXI. p. 119.

Digitized by Google

Auf jeden Fall folgt aus diesen Beobachtungen die auch dort noch statt ſindende Periodicität der Regen, welche mehrere Monate gänzlich fehlen, dann aber zweimal zu einem Maximum wachsen, einmal im December, dem dortigen Sommer, und dann wieder nach den dortigen Herbstnachtgleichen. Wenn ferner das Fehlen des Septembers keine Aenderung erzeugt, so wäre auch dort die ganzjährliche Regenmenge nicht bedeutend groſs.

Dr. Anderson[1] hat versucht, ein allgemeines Gesetz über die Regenmengen unter den verschiedenen Polhöhen aufzustellen, indem er bloſs die Temperatur und die dieser angemessene Dichtigkeit des Dampfs als bedingend betrachtet. Hiernach sollen folgende Breitengrade und Regenhöhen in englischen Zollen einander zugehören:

Breite	Regen	Breite	Regen	Breite	Regen	Breite	Regen
0°	73,17	25	53,12	50	25,36	75	13,16
5	71,39	30	46,77	55	21,72	80	12,24
10	68,72	35	40,50	60	18,69	85	11,72
15	64,47	40	34,92	65	16,32	90	11,55
20	59,11	45	29,79	70	14,49		

Allein selbst nahe liegende Orte zeigen so bedeutende Unterschiede ihrer Regenmengen und so auffallende Abweichungen von den hier angegebenen Bestimmungen, daſs es sich nicht der Mühe lohnt, die Allgemeinheit der von Anderson angenommenen Regel zu widerlegen, da ohnehin das derselben zum Grunde liegende Gesetz durch zahllose anderweitige Bedingungen ausnehmend modificirt wird. Um jedoch auch hier speciell einige Beispiele zu erwähnen, welche die Ungleichheit der Regenmengen an sehr nahe liegenden Orten evident beweisen, mögen die folgenden genügen. Zu Paris betrug die Regenmenge im Jahre 1825 nur 51,93 Centim., in Versailles dagegen 57,65 Cent., im folgenden Jahre aber am ersten Orte 47,21 Cent., am letztern dagegen 46,15 Cent., so daſs also die Unterschiede sogar wechseln, jedoch mit einem Uebergewichte für Versailles, wo es der gemeinen Meinung nach auch mehr regnen soll[2]. Die mittlere Regenmenge zu Glasgow betrug in den Jahren 1815 bis 1817 nur 22,854 engl. Zoll, zu

1 Edinburgh Encyclopaedia. T. XI. 597. T. XVI. 514.

2 Ann. de Ch. et Phys. XXXVI. 415.

Digitized by Google

Corbeth dagegen, welches nur 12 engl. Meilen davon entfernt, aber 466,5 Fuſs über dem Clyde bei Glasgow liegt, betrug sie in den nämlichen Jahren 41,649 engl. Zoll[1]. Noch viele andere Beispiele dieser Art sind aus der unten mitzutheilenden Tabelle der verschiedenen Regenmengen zu entnehmen.

Die Ursachen der periodischen Regen sind zwar die nämlichen, als welche die gewöhnlichen erzeugen, aber ihre regelmäſsige Wiederkehr beruht auf eigenthümlichen Bedingungen, die allgemein wirksam sind, sofern sie nicht durch anderweitige Nebenumstände modificirt werden. Die bedeutend groſse und verhältniſsmäſsig weniger wechselnde Höhe der Sonne, deren unmittelbare Folge eine geringere Verschiedenheit der Tageslängen ist, verursacht eine mehr gleichbleibende Wärme und erzeugt neben andern mitwirkenden Ursachen den regelmäſsigen Passatwind; das Gleichgewicht der verschiednen über einander befindlichen Luftschichten wird weniger gestört und hierauf beruht die Unveränderlichkeit des Barometerstands und die Regelmäſsigkeit der täglichen Schwankungen. Auch unter höhern Breiten herrscht mitunter Monate lang Dürre, wenn die Richtung des Winds sich nicht ändert. Bliebe die Höhe der Sonne in der äquatorischen Zone stets unverändert, so würde die stete Dauer des Passatwinds allen Regen verscheuchen. Vermöge der gröſsern Hitze steigen nämlich die erwärmten Luftschichten in die Höhe, die minder heiſsen, von den gemäſsigten Zonen herbeiströmenden werden nicht abgekühlt und können daher auch keinen Niederschlag fallen lassen. Nähert sich aber die Sonne dem Zenith, so steigt wegen der vermehrten Tageslänge bei gröſserer Feuchtigkeit des Bodens die Wärme in denjenigen Gegenden, welche die Grenze der äquatorischen und gemäſsigten Zone bilden, und die von ihnen herbeiflieſsenden Luftmassen entladen sich daher durch Abkühlung ihres übergroſsen Wassergehalts, wobei noch insbesondere das durch Dove[2] nachgewiesene Gesetz Berücksichtigung verdient, daſs die kältern herbeiströmenden Luftmassen die wärmern zurückdrängen und gleichsam aufrollen, die letztern aber bei ihrem Andrange gegen die erstern sich über diese hinwälzen. Dieses ist ungefähr die Erklärung, wel-

1 Ann. of Phil. XII. 377.
2 S. unten: *Einfluſs der Winde.*

Digitized by Google

che Al. von Humboldt[1] von diesem merkwürdigen Phänomene aufgestellt hat, und mit Recht zieht er einen ursächlichen Einfluſs der gleichzeitig veränderten Luftelektricität in Zweifel, da die Disposition zu Gewittern vielmehr als Folge der Niederschläge zu betrachten ist. Um jedoch die Sache noch klarer zu überblicken, muſs zugleich berücksichtigt werden, daſs die periodischen Regenzeiten im Allgemeinen nie aufhören, sondern genau genommen bloſs von der einen Grenze der äquatorischen Zone zur andern übergehn und dann wieder zurückkehren. Denken wir also dieselbe an irgend einem Orte, z. B. unter 18 oder 19 Grad N. B. existirend, so dauert sie so lange fort, als die Luft dieser Gegenden übermäſsig erhitzt und gleichzeitig mit Dämpfen von den so eben durch die stärksten Regengüsse befeuchteten Strecken überladen ist; die Niederschläge werden häufiger, wie überall dann der Fall zu seyn pflegt, wenn sie einmal begonnen haben und dadurch das Gleichgewicht der Luftschichten unter einander gestört ist. Dieser Zustand dauert fort, während die Sonne den Wendekreis erreicht und von demselben wieder zurückkehrt. So wie dieses geschieht, nimmt die Tageslänge ab, die Temperatur wird geringer, die Strömungen von der nördlichen Halbkugel her gewinnen an Stärke, so daſs ihnen die südlichen nicht mehr widerstehn können, die eindringenden Luftmassen werden nicht mehr abgekühlt, um ihren Dampfgehalt abzusetzen, demnach beginnen die regelmäſsigen Winde und in Folge derselben die Heiterkeit der Atmosphäre wieder, die periodischen Regen dagegen wandern südlich unter dem Aequator hin, gelangen bis in die Gegenden des südlichen Wendekreises, und so wechseln die Perioden des Regnens und der Trockniſs mit der nothwendig bedingten, der Erfahrung gemäſsen Regelmäſsigkeit.

Die Richtigkeit dieser Ansicht über ein eben so interessantes als bisher noch keineswegs vollständig erklärtes Phänomen scheint mir insbesondere durch einige wichtige Thatsachen begründet, deren Kenntniſs wir der genauen Beobachtungsgabe des Al. v. Humboldt verdanken. Zuerst beginnen die Regenzeiten schon früher, als die Sonne das Zenith des Beobachters erreicht, zum Beweise, daſs die von derjenigen

1 Reisen. D. Ueb. Th. III. S. 350.

Halbkugel herbeiströmenden Luftmassen, von welcher die Sonne sich entfernt, die Regenwolken vor sich hertreiben, zweitens aber bemerkt v. Humboldt ausdrücklich, daſs unter 8 bis 10 Grad N. B. vor der Regenzeit NO.-Wind herrschte, aber vor dem Wechsel desselben schon leichte Wolken mit unglaublicher Schnelligkeit in den höhern Regionen über jene Gegenden in südlicher Richtung weggetrieben wurden. Der Wind folgt also gleichsam dem Gange der periodischen Regen oder richtiger er treibt dieselben vor sich her. Schwerlich wird man hiergegen das Argument geltend zu machen sich veranlaſst fühlen, daſs diesemnach die Grenze der periodischen Regen sich über die Wendekreise hinaus erstrecken müſste. Zuvörderst bezweifle ich nicht, daſs eine gewisse Periodicität der Regen und der damit abwechselnden Dürre allerdings bis zu dieser Grenze reicht, ja sogar mit abnehmender Regelmäſsigkeit und geringerer Schärfe der Trennung noch darüber hinausgeht, daneben aber versteht sich von selbst, daſs der eigenthümliche Charakter dieser Processe um so mehr sich verlieren müsse, je näher sie denjenigen Gegenden kommen, wo sie überall nicht statt finden können, abgerechnet, daſs anderweitige örtliche Bedingungen sie modificiren. Kämtz[1] folgert daher mit Recht, daſs die Periodicität der Regen noch in Portugal bemerkbar ist und bloſs durch die Pyrenäen gehindert wird, sich noch weiter nördlich zu zeigen, in Italien aber muſs wohl der Nähe des mittelländischen Meers ein zu bedeutender Einfluſs auf die meteorologischen Verhältnisse zugeschrieben werden, als daſs daselbst eine auffallende Periodicität der Regen statt finden könnte.

c) Oertliche Bedingungen der Regenmengen.

Die Regenmengen haben zwar im Allgemeinen ihr Maximum unter dem Aequator und nehmen von hier an nach beiden Polen hin ab, bis sie endlich ihr Minimum erreichen oder vielleicht ganz aufhören, wenn in den Puncten der gröſsten Kälte der Dampfgehalt der Luft so gering wird, daſs die nicht bedeutenden Veränderungen der Temperaturen keinen

---

1 Meteorologie I. 433.

Niederschlag mehr zu erzeugen vermögen, allein es kommen noch so viele anderweitige Bedingungen hinzu, daſs keineswegs an allen Orten der äquatorischen Zone die gröſsten Quantitäten des hydrometeorischen Wassers angetroffen werden, indem es ja unter andern in Lima gar nicht regnet, und daſs sie ebensowenig überall unter gleichen Parallelen auch nur in einem genäherten Verhältnisse einander gleichkommen. Diese örtlichen Einflüsse sind übrigens zahlreich und oft auf so geringe Strecken beschränkt, zugleich aber so wirksam, daſs es unmöglich seyn würde, auf eine gleiche Weise isohydrometrische Linien zu construiren, als dieses für die Wärme in den isothermischen geschehn ist. Die wesentlichsten derselben sind folgende:

1) Die Nachbarschaft des Meers, groſser Seen und breiter Ströme, welche der Verdunstung stets neues Material darbieten und somit die Luft unaufhörlich im Zustande gröſserer Feuchtigkeit erhalten. Der Einfluſs dieser Ursache ist allgemein bekannt und ihre Wirksamkeit so bedeutend, daſs die darüber bekannten Thatsachen wahrhaft Erstaunen erregen müssen, weswegen es jedoch zugleich zur Begründung des Gesetzes nur weniger Beispiele bedarf. Aus dieser Ursache sind die Regenmengen an den Meeresküsten ungleich gröſser, als im Binnenlande, England hat gröſsere, als seiner nördlichen Lage zukommen, und zu Leedhills an der Westküste Schottlands wurden im Mittel aus 6 Jahren bloſs in den sieben Monaten von April bis October 32,21 engl. Zoll gemessen[1], zu Liverpool und Edinburg sind sie gröſser als in Bristol und London, zu Breda und Zwanenburg gröſser als in Regensburg und Ofen, in der Umgegend des Orinoko und Amazonenflusses gröſser als in den Llanos von Caracas. Ein Ueberblick der demnächst mitzutheilenden Regenmengen an den verschiedensten Orten der Erde gewährt so viele und so sprechende Beweise für diese Behauptung, daſs es mir überflüssig scheint, hier noch mehr Beispiele anzuführen.

2) Der gebirgige und waldige Charakter einer Gegend trägt ungemein viel zur Vermehrung der Regenmengen bei. Der Einfluſs ausgedehnter Waldstrecken ist so bekannt und

1 Edinb. Phil. Journ. N. IX. p. 219.

Digitized by Google

durch Moreau de Jonnes[1] an so zahlreichen Beispielen nachgewiesen, daſs es mir überflüssig scheint, hierauf weiter einzugehn, um so mehr, als dieser Gegenstand bereits erörtert worden ist[2]. Gleichfalls als bekannt darf ich voraussetzen, daſs die Thäler zwischen Bergketten weit reichere hydrometeorische Niederschläge haben, als die niedern und die Berg-Ebenen, und dieses um so mehr, je höher und ausgedehnter die Bergketten sind, welche jene Thäler bilden; ich selbst habe im Jahre 1832 Gelegenheit gehabt, mehrmals zu beobachten, daſs es in den Thälern des Schwarzwalds regnete, und zwar mit zunehmender Stärke, je tiefer man in dieselben eindrang, wenn es in der angrenzenden Ebene und auf den Höhen jener Berge bloſs trübes und nebliges Wetter war. Ueberhaupt darf man jetzt als durch unzweifelhafte Erfahrungen begründet ansehn, daſs die Menge des atmosphärischen Wassers auf Bergen gröſser ist, als in ebenen Gegenden, ungeachtet seit v. Saussure man allgemein geneigt war, die obern Regionen der Atmosphäre für sehr trocken zu halten[3]. Hieraus ist erklärlich, daſs die Regenmenge in Genf nach einer genäherten Bestimmung nur 29 Z., auf dem Hospitium des St. Bernhard dagegen 49,5 Zoll beträgt; desgleichen verlieren die (oben c) bereits erwähnten Erfahrungen von Schübler, wonach die Regenmenge auf dem Schaichhof und noch mehr die zu Genkingen gröſser sind als zu Tübingen, die für die mit der Höhe wachsende Quantität des hydrometeorischen Wassers ihnen beigelegte Beweiskraft. Ueberhaupt sind die Regenmengen in den Alpen gröſser als in den sie nördlich und selbst südlich begrenzenden Ebenen, woraus der reichliche Wassergehalt erklärlich wird, welchen die Etsch, der Po, die Rhone, der Rhein und insbesondere die Donau jährlich aus ihnen dem Meere zuführen. Die mehrfach gemachten Beobachtungen, daſs Wolken, die demnächst leicht zu Gewittern übergehn, an den Spitzen der hervorragenden Kuppen gröſserer Gebirgszüge gebildet werden, wie unter andern Rumi[4], Bran-

---

1 Untersuchungen über die Veränderungen, die durch die Ausrottung d. Wälder in dem physischen Zustande d. Länder entstehn u. s. w. Uebers. von Wiedemann. Tüb. 1828.

2 Vergl. *Klima*. Bd. V. S. 881.

3 Vergl. Kämtz Meteorologie. Th. I. S. 348.

4 Wiener Zeitschrift. Th. V. 59.

des[1] und Cook[2] erzählen, stimmen ganz hiermit überein, desgleichen die Erzählungen von Le Blond[3] und Lavayssé[4], daſs auf manchen Spitzen hoher Berge unter der heiſsen Zone fast regelmäſsig bei einbrechender Nacht ein kurzdauernder Regen fällt, endlich der fast tägliche Regen, welchen Freygang[5] auf dem Ararat angetroffen zu haben berichtet.

3) Berge wirken mittelbar auf die Regenmengen dadurch, daſs sie die Richtung der Winde bedingen, durch welche die Regenwolken herbeigeführt werden. Abstrahiren wir vorläufig von dem Einflusse der Winde, sofern diese feuchtere oder trocknere Luft aus entferntern Gegenden herbeiführen, so zeigt sich ein andrer darin, daſs hohe und weit ausgedehnte Berge die Regenwolken aufhalten, ihre Entladung befördern und hierdurch bewirken, daſs an der einen Seite solcher Gebirgszüge überwiegend vieler Regen fällt, während die andre sogar Mangel daran leiden kann. Beispiele dieser Art sind nicht selten, in einem gröſsern Maſse aber zeigt sich die Sache in demjenigen, was v. Humboldt von der Hochebene Quito's und Christie von der Gegend um Darwar erzählt[6]. In der letztern regnete es 1827 fast 3 Wochen hindurch unaufhörlich, während weiter östlich die gröſste Trockenheit herrschte; wegen der langen Dauer der Regen müssen sich die Bewohner der westlichen Gegenden mit Vorräthen versehn, weil die schwellenden Bäche die Verbindung hindern, eine Vorsicht, die man weiter östlich nicht kennt. Zu Goa beobachtete Christie auſserdem, daſs um Mittag des 6. Oct. starke Wolkenmassen mit Blitz und Donner auf den 2500 Fuſs hohen Gauts-Gebirgen sehr schnell hinzogen, während in den untern Gegenden völlige Windstille herrschte. Einen sehr auffallenden Beweis liefert aber die oben mitgetheilte Regenmenge von Coimbra, welche gröſser ist, als an irgend einem andern Orte in Europa, und bloſs daraus erklärbar wird, daſs die vom Meere kommenden Dämpfe an den Gebirgen, welche jene Stadt amphitheatralisch einschlieſsen, condensirt werden. Zu

1 Beiträge zur Witterungskunde. S. 316.
2 Dritte Reise. Deut. Ueb. B. I. S. 483.
3 Reise. Ueb. von Zimmermann. S. 178.
4 Dessen Reise. In Bibliothek d. Reis. S. 55 u. 65.
5 Reise nach dem Caucasus. S. 252.
6 S. *Klima*. B. V. S. 880.

Lissabon und Maſra kann der Niederschlag so bedeutend nicht seyn, weil die Temperatur daselbst höher ist als die über dem benachbarten Meere, ganz demjenigen entgegengesetzt, was zu Bergen statt ſindet.

4) Ob in der Erde selbst bedingende Ursachen vorhanden sind, welche den Regen anziehn und daher die Menge des herabfallenden Wassers etwas vermehren, bleibt immerhin fraglich. In gröſserer Tiefe können dieselben auf keine Weise gesucht werden, wohl aber ist es denkbar, daſs sich nahe unter der Oberſläche manche Substanzen beſinden, welche anziehend auf die Wolken, namentlich die elektrischen, wirken. Als beweisend hierfür, wo nicht direct, doch mindestens indirect, könnte angeführt werden, daſs der aus den Wolken ausfahrende Blitz eine Disposition zu seiner Aufnahme an dem von ihm getroffnen Orte voraussetzt, den er durch seine Schlagweite zu erreichen vermag, woraus erklärlich wird, daſs er oft seine Bahn mitten zwischen anscheinend bessern Leitern hindurch wählt. Nicht minder deutet das sogenannte Rauchen der Berge, eine bereits beschriebene eigenthümliche Art von Nebel[1], auf eine solche Disposition der äuſsern Erdrinde. Wäre die Sache begründet, so lieſse sich aus ihr wiederum die Erklärung entnehmen, warum an manchen Orten die Regenmengen gröſser sind, als an andern nicht weit entfernten, ohne daſs man einen sonstigen Grund dieser Verschiedenheit aufzuſinden vermag[2].

f) Einfluſs der Winde auf den Regen.

Der Regen fällt allezeit aus Wolken, die durch den Wind herbeigeführt sind, und es giebt wohl kein Beispiel, daſs die Atmosphäre über einer gewissen Gegend unbewegt bleibend mit Waſserdampf überladen würde und sich dieses ihres Gehalts an der nämlichen Stelle wieder entledigte. Hieraus folgt dann aber nothwendig, daſs ein bedeutender Un-

---

1 S. *Nebel*. Oben S. 20.

2 Meinecke hat diese Frage zur nähern Untersuchung gebracht, zugleich aber mit anderweitigen unhaltbaren Hypothesen in Verbindung gesetzt, die weiter keine Beachtung verdienen. Die ganze Aufgabe war für ihn zu schwierig. S. v. Leonhard Taschenbuch der Mineralog. Th. XVIII. S. 74.

terschied statt ſinden muſs, ob die Luftmassen aus einer Gegend herbeiströmen, wo sie mit Wasserdampf gesättigt, ja sogar bei vorherrschender höhrer Temperatur damit übersättigt werden konnten, oder vielmehr aus einer solchen, wo sie sogar ihres Dampfgehalts durch die geeigneten Bedingungen beraubt wurden. Bleiben wir beispielsweise bei Europa stehn, so müssen im Allgemeinen die vom atlantischen Oceane herbeigeführten Luftmassen feucht, die vom asiatischen Continente herkommenden dagegen trocken seyn, erstere also Regen, letztere dagegen heitres Wetter bringen, und eben dieses muſs aus gleichen Gründen rücksichtlich des mittelländischen Meers und der Polargegenden statt ſinden, die westlichen und südlichen Winde also Regen, die östlichen und nördlichen dagegen Trockenheit bringen. Von groſser Wichtigkeit in dieser Beziehung sind einige sehr auffallende Beispiele, aus denen W. Brandes[1] dargethan hat, daſs für einen groſsen Theil von Deutschland und selbst Europa die Regenwolken im Ganzen ihren Ursprung im atlantischen Oceane haben. Es würde hiernach nicht schwer seyn, diejenigen Winde zu bestimmen, welche vorzugsweise oder allein in den verschiednen Gegenden Regen geben, allein theils giebt es oft ganz andre Luftströmungen in der Höhe als in tiefern Regionen, theils verändert sich die Richtung der Winde nach den Bergzügen und sonstigen Bedingungen selbst auf kürzere Strecken[2], wie namentlich zu Straſsburg und Carlsruhe durch den Einfluſs der Schwarzwaldsberge der Fall ist, denn man erhält als mittlere Richtung des Winds am ersten Orte nach Herren-Schneider[3] = 133° 1′ oder O + 43° 1′ (fast SO.), am letztern nach Eisenlohr[4] = 91° 8′ oder O + 1° 8′, wenn man von N. durch O. nach S. zählt. Am auffallendsten in dieser Beziehung zeigen sich die periodischen Winde der heiſsen Zone, die eine gewisse Zeit hindurch herrschend von anhaltender Trockenheit begleitet sind, dann wechselnd oder gar

---

1 De repentinis variationibus in pressione atmosphaerae observatis. Lips. 1826. 4.

2 G. Schübler Grundsätze der Meteorologie u. s. w. Leipz. 1831. 8. S. 137. Vergl. Correspondenzblatt d. Würtemb. landwirthsch. Vereins. Stuttg. u. Tübing. 1829.

3 Dove in Poggendorff's Ann. XIII. 585

4 Witterungsverhältnisse von Carlsruhe S. 42.

Digitized by Google

zur entgegengesetzten Richtung übergehend die beständigen Regen bringen, wobei meistens die Ursachen dieser Ungleichheit sich unmittelbar ergeben, indem die trocknen heiſse Luft von dürren Flächen, meistens Sandwüsten, herbeiführen, die nassen dagegen mit Waſserdampf, meistens über dem Meere oder feuchten Gegenden, gesättigt worden sind. Als Beispiele können die bereits (oben d) mitgetheilten Beschreibungen der tropischen Regen dienen, inzwischen ist die Sache so allgemein bekannt, daſs man diejenigen Winde, bei denen es am häufigsten regnet, vorzugsweise *Regenwinde* zu nennen pflegt.

Obgleich dieses im Allgemeinen bereits genügend bekannt war, so ist doch L. von Buch[1] der erste, welcher diesen Gegenstand vollständig und in einer streng wissenschaftlichen Form behandelt hat. Als Resultat seiner Untersuchungen folgt für Berlin, daſs, die Anzahl der Regen = 100 angenommen, folgende Mengen mit den 8 Winden der Windrose zusammenfallen:

N.	NO.	O.	SO.	S.	SW.	W.	NW.
4,1	4,0	4,9	4,9	10,2	32,8	24,8	14,4.

Das bedeutende Uebergewicht, welches hiernach auf die Seite der SW. und W. Winde fällt, könnte jedoch in der vorherrschenden Menge dieser gegründet seyn, was allerdings in gewisser Hinsicht wahr ist, allein zugleich ergiebt eine anderweitig angestellte Untersuchung, daſs hierin der Grund nicht allein liege. Wird nämlich aus den Beobachtungen berechnet, wie oft einer der genannten Winde wehen müsse, wenn Regen erfolgen soll, so erhält man folgende Resultate:

N.	NO.	O.	SO.	S.	SW.	W.	NW.
5,8	8,1	8,8	6,9	3,8	2,8	4,2	4,5.

Ist eine genügende Menge von Beobachtungen vorhanden, wenn die Regentage und die gleichzeitig wehenden Winde gehörig aufgezeichnet wurden, so kann daraus gefunden werden, wie oft es bei jedem Winde regnete, wobei man zur leichtern Uebersicht am besten die gesammte Menge der atmosphärischen Niederschläge auf 100 reducirt und angiebt, wie viele von diesen jedem einzelnen Winde zugehören. Verschiedne Zusammenstellungen dieser Art für mehrere Orte von

1 Berliner Denkschriften 1818 — 19. S. 101.

Europa hat Gasparin[1] mitgetheilt, wichtiger scheint es mir jedoch, dasjenige hier aufzunehmen, was durch Schübler und Kämtz in dieser Beziehung geschehn ist[2]. Ersterer stellt folgende zu Deutschland gehörige Reihen zusammen, um aus ihnen das arithmetische Mittel zu finden.

Orte.	N.	NO.	O.	SO.	S.	SW.	W.	NW.
Augsburg	3,15	2,54	0,54	1,27	3,09	25,39	46,12	17,87
Schwäb. Alp[3]	13,71	4,85	3,30	5,44	12,45	21,40	19,84	18,96
Stuttgart	7,08	7,00	7,21	2,28	6,69	36,44	21,83	11,44
Mannheim	12,50	7,13	13,97	11,03	27,13	8,31	17,42	2,42
Berlin	6,06	7,80	5,48	5,56	8,72	27,99	21,92	16,44
Hamburg	3,56	2,93	4,10	4,87	4,46	27,14	36,63	16,37
Mittel	7,66	5,37	5,76	5,07	10,42	24,44	27,29	12,25

Auſser diesen hat derselbe noch folgende 5 Reihen aufgenommen, denen ich die von Carlsruhe hinzufüge[4].

Orte.	N.	NO.	O.	SO.	S.	SW.	W.	NW.
Padua	39,87	22,19	6,61	3,15	1,36	0,63	5,18	21,01
St. Bernhard	1,55	47,31	0,00	0,20	0,00	50,72	0,20	0,20
Genf	1,25	10,10	0,21	1,25	2,81	77,08	0,00	7,29
Bern	20,15	5,81	,77	4,65	0,39	3,33	42,24	22,48
Kopenhagen	5,17	8,84	14,28	8,29	12,51	25,98	18,91	5,99
Carlsruhe	6,85	9,58	1,68	1,03	3,08	56,75	17,03	4,00

Beide hier mitgetheilte Tabellen bestätigen sehr das aufgestellte allgemeine Gesetz, daſs die Hydrometeore eine Folge von Niederschlägen des Dampfs sind, welcher aus feuchten Gegenden in die kältern strömt oder an den Orten bereits vorhanden durch eindringende kalte Luftmassen ausgeschieden

1 Bibliot. univ. T. XXXVIII. p. 180.

2 Kämtz hat genau angegeben, woher die Beobachtungen entnommen sind, nämlich die von Rochelle, Mannheim, Würzburg, München, Prag, Erfurt, Moscow und Stockholm aus den Mannheimer Ephemeriden, von Kopenhagen aus Schouw's Climatologie I. 79., von Åbo aus Schwed. Abh. XXIV. 193., von Ulea aus Neue Schwed. Abh. X. 104., von Petersburg aus Nov. Act. Petr. IX. 393. Schübler hat dieses nicht gethan. Diejenigen Bestimmungen, welche beide gemeinschaftlich haben, stimmen rücksichtlich der absoluten Zahlengröſsen nicht genau überein, die relativen Verhältnisse weichen indeſs nur unmerklich von einander ab. Vergl. Schübler über die mittlern Windrichtungen in Deutschland in Schweigg. Journ. N. R. B. XXV. 135.

3 Aus 14jährigen Beobachtungen vom Pfarrer Gösslin zu Böringen.

4 Aus Dr. Eisenlohr's: Witterungsverhältnisse von Carlsruhe.

wird. Nach der ersten Tabelle bringen überall die W. Winde sowohl an sich, als auch wenn sie sich nach S. und N. neigen, die häufigsten Niederschläge, was insbesondere dann sich allgemein zeigen muſs, wenn man voraussetzt, daſs die anfangs in den höhern Regionen der Atmosphäre den Polen zuströmenden äquatorischen Luftmassen sich über dem europäischen Continente herabsenken. Nehmen wir die Bestimmungen für Mannheim als richtig an, so wird die gröſsere Menge der Regen bei S. Winde aus der Längenerstreckung des Rheinthals leicht erklärlich, die für NW. und N. gegebenen Zahlen müſsten aber nach meinen mehrjährigen Beobachtungen vielmehr umgekehrt werden, da ich ohne eigentliche Messung und Aufzeichnung bei ersterem Winde sehr häufig, bei letzterem aber selten dort Regen wahrnehme. Weiter nördlich, zu Berlin und Hamburg, tritt der Einfluſs der W. Winde stärker hervor, in Stuttgart dagegen fällt nach Schübler die gröſste Regenmenge mit SW. deswegen zusammen, weil das dortige Thal diese Richtung hat.

Lambert[1] zeigte, auf welche Weise man die mittlere Windrichtung an irgend einem Orte finden könne, wenn man die aus den einzelnen Puncten der Windrose wehenden als Kräfte betrachte und aus diesen die Resultirende suche. Indem sich aber die Winde in einem Kreise drehn und insgesammt um 45° von einander abstehn, wenn man deren acht annimmt, so darf man nur von N. durch O. nach S. zählend

$$a = O - W + (NO + SO - SW - NW) \sin. 45^\circ$$
$$b = N - S + (NW + NO - SO - SW) \cos. 45^\circ$$

setzen, um für die mittlere Windrichtung $= \varphi$

$$\text{tang. } \varphi = \frac{a}{b}$$

zu erhalten. Sieht man demnach die Menge der Regentage, welche auf einen jeden dieser Winde fallen, als das Maſs der Kraft an, welche er zur Erzeugung des Regens ausübt, so erhält man hiernach die der gröſsten Regenmenge zugehörige mittlere Windrichtung. Schübler hat hierzu die aus der ersten Tabelle gefundenen arithmetischen Mittel benutzt und

1 Nouveaux Mém. de Berlin. 1777. p. 26. Vergl. Art. *Wind.*

findet sonach für Deutschland die dem meisten Regen zugehörige mittlere Windrichtung $= 254^\circ\, 26'$ oder $SW + 29^\circ\, 26'$, also etwa 7° über WSW. nach W. hin fallend.

Ungleich vollständiger, als dieses durch Gasparin und Schübler geschehn ist, hat Kämtz[1] den Einfluſs der Winde auf die Regenmengen für viele Orte nachgewiesen und ist in diesen Bestimmungen auch insofern über die Leistungen der beiden genannten Gelehrten hinausgegangen, als er nicht bloſs die relativen Mengen der einem jeden der acht Winde zugehörigen Regen, sondern auch die Zahlen, wie oft einer derselben wehn muſs, wenn es einmal bei ihm regnen soll, aufgefunden hat. Ist nämlich die Zahl der Beobachtungen $= S$, kommt unter diesen ein gewisser Wind s mal vor, ist die Menge der zu den beobachteten Windrichtungen gehörigen hydrometeorischen Niederschlägen $= N$ und fallen von diesen n auf einen gewissen Wind, so ist $\frac{s}{n}$ das Verhältniſs, wie oft dieser Wind wehn muſs, wenn es einmal bei ihm regnen soll.

Auf diese Weise sind folgende Bestimmungen erhalten worden, denen ich bloſs die aus den Carlsruher Beobachtungen hinzufüge. Die Columne A bezeichnet die auf 100 reducirten Verhältniſszahlen der einem jeden der acht Winde zugehörigen Regenmengen, B die Zahl, wie oft ein gewisser Wind wehn muſs, wenn es einmal bei ihm regnen soll[2].

	La Rochelle		Kopenhagen		Mannheim		Würzburg	
	A	B	A	B	A	B	A	B
N.	6,0	11,1	4	14,3	6,8	6,1	6,4	8,3
NO.	8,3	22,4	7	14,3	5,8	8,4	3,8	11,2
O.	4,7	8,7	11	12,5	7,4	6,3	6,2	8,9
SO.	3,6	5,9	8	8,3	13,3	3,3	8,9	5,3
S.	12,9	5,2	14	6,4	14,9	2,7	16,2	4,4
SW.	47,4	4,0	29	6,3	23,3	2,7	24,9	4,1
W.	10,4	6,3	21	7,7	16,2	2,9	23,0	5,4
NW.	6,7	8,6	6	12,5	12,3	4,6	10,6	6,8

1 Meteorologie Th. I. S. 433.

2 Kämtz bringt diese Resultate auf einen allgemeinen analytischen Ausdruck zurück, dessen sich Hällström in Poggendorff's Ann. IV. 373. und Dove ebend. XI. 576. u. a. bereits bedient haben, wonach $R^{(n)} = r + u' \sin. (n. 45^\circ + v') + u'' \sin. (n. 90^\circ + v'')$ ist, worin $R^{(n)}$ die Zahl bezeichnet, wie oft der Wind aus dem nten Puncte wehn muſs, wenn es bei ihm einmal regnen soll, und

Digitized by Google

	München		Prag		Erfurt		Moscow	
	A	B	A	B	A	B	A	B
N.	4,7	6,3	7,3	4,3	7,2	8,5	8,5	4,6
NO.	2,7	7,2	3,5	9,2	7,7	7,3	11,7	3,5
O.	5,7	13,8	2,5	13,5	16,4	9,1	3,9	3,2
SO.	1,3	11,6	4,4	12,7	3,7	10,2	17,8	3,2
S.	7,5	5,9	9,1	7,8	7,0	7,8	9,4	3,1
SW.	28,9	3,2	24,8	5,1	17,7	6,8	23,2	2,8
W.	46,3	2,9	23,6	4,3	28,5	5,8	6,4	3,2
NW.	2,9	4,9	24,8	3,8	11,8	3,7	19,1	4,4

	Stockholm		Åbo		Ulea		Petersburg	
	A	B	A	B	A	B	A	B
N.	13,4	2,8	6,0	5,1	14,2	5,2	8,5	3,3
NO.	16,7	1,9	14,6	3,5	12,1	4,5	8,5	3,2
O.	12,6	2,2	13,1	2,7	15,3	3,9	14,9	3,0
SO.	13,2	2,3	20,1	2,1	13,0	4,3	11,7	2,7
S.	14,7	2,8	13,5	3,1	22,2	4,5	13,1	2,6
SW.	13,0	3,5	17,6	3,8	10,8	5,7	16,0	2,2
W.	9,3	6,0	7,8	5,7	7,0	6,6	17,2	2,8
NW.	7,1	4,1	7,3	5,8	5,4	7,9	10,1	3,3

Zu diesen setze ich der Vollständigkeit wegen noch folgende aus verschiedenen Gegenden.

	Carlsruhe [1]		Padua [2]		Rom [2]		Cambridge [3] bei Boston	
	A	B	A	B	A	B	A	B
N.	6,85	5,25	33,5	5,6	16,2	12,3	15,3	3,2
NO.	9,58	11,78	24,6	3,5	8,8	6,7	28,4	2,3
O.	1,68	13,67	11,1	7,5	8,1	3,0	10,3	7,3
SO.	1,03	4,75	5,1	9,4	12,1	3,8	6,4	3,3
S.	30,88	3,80	3,6	11,9	18,0	4,7	14,3	3,6
SW.	56,75	2,92	4,7	8,8	22,8	7,1	14,6	10,0
W.	17,03	3,52	7,8	9,8	9,1	6,8	5,2	22,1
NW.	4,00	4,42	9,6	9,7	4,9	9,0	5,5	21,1

Meine eignen Beobachtungen hier in Heidelberg sind seit 1817 oder vielmehr, weil die Verlegung der akademischen Institute

---

wozu die Constanten aus der Columne B genommen werden. Indeſs übergehe ich eine weitere Erörterung dieser Aufgabe, die mir minder wichtig scheint.

1 Eisenlohr Witterungsverhältnisse von Carlsruhe.

2 Kämtz Meteorologie Th. I. S. 473.

3 Ebend. S. 483. aus Mannheimer Ephem.

im nächstfolgenden Jahre eine Störung verursachte, seit 1819 ohne Unterbrechung fortgesetzt worden, jedoch habe ich die Windrichtungen nicht mit aufgezeichnet, weil es wegen der Zurückwerfung des Windes von den nahen Bergen unmöglich ist, auch vermittelst der besten Windfahnen genaue Beobachtungen seiner Richtung zu erhalten. Im Ganzen bestätigt sich jedoch auch hier das Gesetz, daſs der Wind den Kreis in der Richtung von N. durch O. und S. nach W. durchläuft und nur selten bei sehr veränderlicher Witterung einen entgegengesetzten Gang befolgt, insofern er namentlich bei stürmischem und regnerischem Wetter zwischen NW. und SW. oder häufiger zwischen W. und S. schwankt. Beim O. Winde ist der Regen am seltensten, auch bleibt das Wetter heiter, während der Wind durch S. nach W. und selbst NW. bei steigendem Barometerstande übergeht; nur selten beginnt der Regen schon beim tiefſten Stande des Barometers, meiſtens erst beim steigenden, aber der herrschende Wind ist dann südwestlich, jedoch dauert derselbe fort während seines Ueberganges durch W. nach N. und hört erst nach einiger Dauer des letztern gänzlich auf[1]. Die mit Wasserdampf gesättigten Wolken scheinen also durch südliche Luftströmungen herbeigeführt und ihres Wassergehalts erst durch Beimischung kalter nördlicher oder nordwestlicher Winde beraubt zu werden.

g) Einfluſs der Jahreszeiten auf die Regenmengen.

Die Winde sind nicht im ganzen Jahre gleichmäſsig vertheilt, sondern die Menge der einzelnen ist in den verschiedenen Jahreszeiten ungleich, und da die Regenmengen von den Winden abhängen, so folgt hieraus von selbst deren Abhängigkeit von den verschiednen Jahreszeiten. Uebten die letztern diesen Einfluſs ohne Einschränkung aus, so müſste das Verhältniſs der Winde und der Regenmengen zu den Jahreszeiten einander gleich seyn, allein es folgt schon aus den Resultaten, welche L. von Buch für Berlin erhalten hat, daſs die Zahlen, wie oft ein gewisser Wind wehn muſs, wenn es einmal bei ihm regnen soll, für die verschiednen Jahreszeiten verschieden sind, nämlich

1 Vergl. *Meteorologie*, Barometerschwankungen.

Digitized by Google

	N.	NO.	O.	SO.	S.	SW.	W.	NW.
Winter	5,0.	4,4.	8,3.	6,6.	3,9.	2,6.	3,2.	3,3.
Frühling	3,8.	4,6.	11,1.	7,8.	4,2.	3,0.	3,8.	5,1.
Sommer	7,5.	9,9.	5,4.	6,4.	2,8.	2,4.	4,0.	4,9.
Herbst	10,3.	9,2.	24,1.	6,6.	4,5.	3,2.	5,8.	4,0.

Neuerdings hat jedoch Gasparin[1], aufmerksam gemacht durch seine Untersuchungen über den Einfluſs der klimatischen Beschaffenheit der verschiedenen Orte auf die Agricultur[2], die Aufgabe zum Gegenstande ausführlicher Forschungen gemacht, und aufgefunden, daſs auch in den gemäſsigten Klimaten insofern eine Art von Periodicität der Regen statt findet, als die gröſsten Regenmengen an gewisse Jahreszeiten gebunden sind. Diese Behauptung gewinnt an Gewicht und Wahrscheinlichkeit dadurch, daſs die verschiedenen Länder sich nach der Zusammenstellung mehr- und vieljähriger Beobachtungen in verschiedne Gruppen eintheilen lassen, zwischen denen sogar die Wendepuncte deutlich hervortreten, wo die eine Periode in die entgegengesetzte übergeht. Da diese ganze Untersuchung bereits durch Kämtz nicht bloſs benutzt, sondern auch vervollständigt und verbessert worden ist, so begnüge ich mich hier nur einige Hauptsätze daraus mitzutheilen.

Europa zerfällt in zwei groſse Abtheilungen, wovon die nordöstliche vorzugsweise Sommerregen, die südwestliche dagegen Herbstregen hat. Letztere beschränkt sich jedoch nicht bloſs auf den genannten Welttheil, sondern erstreckt sich bis zum Atlas, zu den Katarakten in Aegypten, nach Darfur und Abyssinien, und auch die Canarischen Inseln sind nach L. von Buch darin begriffen. Als einen Scheidepunct beider nimmt Gasparin Groſsbritannien an, welches nur mit unmerklichem Uebergewichte dem Herbstregen angehört, jedoch bedarf es nur einer Bergkette zwischen dem südwestlichen Oceane und einem Lande, um dieses den Sommerregen zu unterwerfen, weswegen Deutschlands Küsten, durch England gedeckt, schon zu den letztern gehören und der Canal also die Grenze zwischen den Herbst- und Sommerregen bildet. Hiernach liegen Boulogne und Flandern in der Region der Sommerregen, zu Paris aber verschwindet der Unterschied, es befindet

1 Bibl. univ. T. XXXVIII. p. 54 ff. 113 ff.

2 Mém. de la Soc. centrale d'Agriculture. 1826.

Digitized by Google

sich dort gleichfalls ein Uebergangspunct, und eine Linie von London nach Paris hat also rechts die Region der Herbstregen, links die der Sommerregen. Werden diese Untersuchungen fortgesetzt, so findet man die Linie, welche die Länder, zu denen die von den südlich und südwestlich gelegnen Meeren herströmenden Winde frei gelangen können, von denjenigen trennt, welche durch eine Bergkette oder eine groſse Länderstrecke dagegen geschützt sind, wovon dann die ersteren zur Region der Herbstregen, die letzteren zu der der Sommerregen gehören. Dabei ist übrigens einleuchtend, daſs die Grenze nicht absolut scharf seyn kann, wenn nicht hohe Bergketten sie bestimmen, und daſs daher mehrfache bedingende Ursachen ihr eine Beugung geben, oder sie auch selbst nur für gewisse Zeitintervalle verrücken müssen, wie denn namentlich derjenige Theil derselben, welcher früher durch das Seine-Thal gebildet wurde, weiter östlich gerückt ist.

Gasparin hat diese in wissenschaftlicher Hinsicht interessante und für die Agricultur wichtige Untersuchung noch weiter fortgesetzt und nach einer groſsen Menge von ihm benutzter genauer Beobachtungsregister die verschiednen Gegenden in der Beziehung geordnet, wie in ihnen die den *vier Jahrszeiten* zugehörigen gröſsern Regenmengen vorherrschend sind. Mit Recht hat jedoch Kämtz die Einwendung gemacht, daſs die von jenem gewählte Abtheilung der Jahreszeiten zwar astronomisch richtig, für diese meteorologischen Bestimmungen aber unpassend ist, insofern die ihre Eigenthümlichkeit hauptsächlich bedingende Sonnenhöhe nicht in den Anfang, sondern in die Mitte derselben fallen muſs. Ungleich zweckmäſsiger, insbesondre mit Rücksicht auf die nachhaltende Wärme, gehören daher März, April und Mai zum Frühling, Juni, Juli und August bilden den Sommer, September, October und November den Herbst, und es bleiben sonach December, Januar und Februar für den Winter. Diese Abtheilung hat Kämtz zum Grunde gelegt, hiernach die verschiednen Gegenden in Beziehung auf die Regenmengen geordnet, dabei zwar die Vorarbeiten Gasparin's benutzt, jedoch so bedeutend erweitert und so sehr unmittelbar aus den Quellen geschöpft, daſs seine Arbeit als eine ganz neue betrachtet werden kann, aus welcher ich hier das Wichtigste um so mehr in einiger gröſserer Vollständigkeit mittheile, als es schon

an sich interessant und in mehrfacher Beziehung nützlich ist, die monatlichen Regenmengen der verschiedenen Orte zu kennen[1]. Am meisten Aufmerksamkeit in dieser Beziehung verdient England, nicht bloſs insofern es von Gasparin als einen Wendepunct bildend gefunden worden ist, sondern auch weil es, überall vom Meere umgeben, den unmittelbaren Einfluſs der Luftströmungen auf die Hydrometeore erkennen läſst, und auſserdem besitzen wir aus diesem Lande viele genaue Beobachtungen. Für den westlichen und südwestlichen Theil erhält man demnach folgende Regenhöhen, aus denen das Verhältniſs der Jahreszeiten auf 100 reducirt entnommen ist.

Monat.	Ins. Man.		Penzance		Bristol		Liverpool		Manchester.	
	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.
Jan.	6	6,0	3	4,2	1	5,5	2	3.2	2	2.0
Febr.	2	4,5	2	9,2	1	0,1	1	11,0	2	4,9
März	2	5,6	2	11,9	1	8,7	1	5,1	1	11,6
April	2	5,2	1	6,2	1	1,2	1	11,3	1	10,6
Mai	1	5,2	2	7,5	2	4,6	2	5,1	2	8,6
Juni	1	8,4	1	10,3	1	2,5	2	7,0	2	4,2
Juli	1	10,7	2	4,4	2	10,2	3	3,3	3	5,6
August	3	3,4	2	9,9	1	0,0	3	0,9	3	5,3
Septemb.	2	11,7	2	10,1	0	9,2	3	8,9	3	0,9
October	4	5,6	4	6,9	3	1,9	3	6,8	3	8,1
Novemb.	4	8,2	4	1,7	3	2,3	3	4,5	3	1,8
Decemb.	4	7,5	4	10,9	2	0,1	2	9,4	3	7,1
Jahr	34	10,0	36	9,2	21	10,3	32	4,5	33	10,8
Winter	27,3		29,9		20,5		21,6		40,0	
Frühling	18,2		19,4		23,8		17,9		20,0	
Sommer	19,7		19,2		23,2		27,6		27,0	
Herbst	34,8		31,5		32,5		32,9		29,0	

1 Kämtz Meteorologie Th. I. S. 448 bis 506. Auſserdem befindet sich Einiges über diese Eintheilung in der bereits erwähnten Meteorologie von Schübler und beiläufig in meteorologischen Abhandlungen. Da es mir nicht wohl möglich und an sich auch nicht zweckmäſsig seyn würde, diesen Gegenstand noch mehr zu erweitern, als bereits durch Kämtz geschehn ist, unser Werk auſserdem die Wissenschaft nicht neu gestalten, sondern bloſs das Bestehende zusammenstellen und nur die etwa vorhandnen Mängel, so weit als thunlich ist, ergänzen soll, so trage ich kein Bedenken, den Hauptinhalt der genannten schätzbaren Arbeit aufzunehmen, jedoch der Kürze wegen mit Weglassung der Quellen, die benöthigten Falls am genannten Orte zu finden sind. Für die wenigen von mir hinzugefügten Orte habe ich die Quellen angegeben.

Digitized by Google

Monat.	Lancaster Z.	L.	Kendal Z.	L.	Gasport Z.	L.	Dover. Z.	L.
Januar	3	2,9	4	10,0	2	5,7	4	6,9
Februar	2	9,7	4	8,6	2	5,6	3	3,3
März	1	7,7	3	1,1	1	11,7	2	10,8
April	2	0,5	2	9,4	2	4,2	2	9,6
Mai	2	3,7	3	0,2	2	4,7	3	2,3
Juni	2	4,3	2	6,1	1	1,5	2	1,4
Juli	3	10,6	4	3,8	2	0,2	4	7,2
August	4	3,6	4	7,8	1	7,8	2	9,7
Septemb.	3	6,2	4	7,3	3	0,7	3	4,3
October	3	10,7	5	2,5	2	8,7	4	8,4
Novemb.	3	6,5	4	10,5	2	10,2	4	3,1
December	3	8,5	5	9,6	2	9,5	5	6,2
Jahr	37	3,0	50	4,9	27	10,5	44	1,2
Winter	26,2		30,4		27,7		30,3	
Frühling	16,1		17,6		24,1		20,1	
Sommer	28,3		22,8		17,2		21,6	
Herbst	29,4		29,2		31,0		28,0	

Alle zusammengenommen geben folgende Verhältnisse der Jahreszeiten: Winter 26,4; Frühling 19,7; Sommer 23,0; Herbst 30,9. Weniger tritt dieses Vorwalten der Herbstregen im Innern und an der östlichen Seite Englands hervor.

Monat.	Chattsworth Z.	L.	Branxholm Z.	L.	Barrowby Z.	L.	Kinfauns. Z.	L.
Januar	2	0,7	2	1,8	1	4,3	2	0,7
Februar	1	6,6	2	10,5	1	6,2	1	6,2
März	1	2,9	2	0,2	1	0,0	1	3,5
April	1	11,4	1	8,2	1	4,4	1	8,5
Mai	1	11,8	2	4,4	1	6,3	2	3,7
Juni	2	1,7	2	0,2	1	11,7	1	7,3
Juli	2	9,8	2	11,2	2	9,2	2	0,9
August	2	3,4	2	3,0	2	3,5	2	1,8
Septemb.	2	1,8	2	11,3	3	4,2	1	7,6
Octob.	2	10,6	3	7,5	2	5,8	2	0,8
Novemb.	2	5,6	2	7,3	2	2,3	2	4,8
December	2	4,9	2	0,5	1	11,0	2	4,2
Jahr	25	11,4	29	6,1	23	8,9	23	2,0
Winter	23,2		23,9		20,2		25,6	
Frühling	19,9		20,6		16,4		22,9	
Sommer	27,9		24,3		29,6		25,2	
Herbst	28,9		31,1		38,8		26,3	

Monat.	Hackney Wick		Oxford		London		Epping	
	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.
Januar	1	0,8	0	11,5	1	7,4	0	9,6
Februar	1	10,5	1	8,2	1	5,3	1	10,8
März	1	3,5	0	10,0	1	8,7	1	8,2
April	1	11,6	1	10,3	1	7,8	1	10,2
Mai	2	3,6	1	3,4	1	10,5	2	0,6
Juni	1	8,7	0	8,3	1	7,3	1	10,9
Juli	1	8,6	2	8,7	2	1,1	1	9,1
August	1	10,0	1	7,3	1	9,5	2	0,8
Sept.	2	5,2	2	0,0	2	1,1	2	7,3
October	2	4,6	2	9,0	2	7,7	2	11,7
Nov.	2	2,5	2	3,9	2	4,8	3	1,7
Dec.	1	11,9	1	10,3	2	5,6	2	5,6
Jahr	22	9,5	20	6,9	23	4,8	25	2,5
Winter	21,6		21,9		23,6		20,5	
Frühling	24,4		19,3		22,4		22,1	
Sommer	23,1		24,4		23,5		22,7	
Herbst	30,9		34,4		30,5		34,6	

Monat.	Lyndon		New Malton		Dumfries		Glasgow		Edinburg.	
	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.
Januar	1	2,6	2	1,5	2	10,8	1	6,0	1	10,6
Februar	1	1,2	1	8,1	2	7,9	1	7,6	1	7,2
März	0	11,9	1	9,4	2	0,4	1	1,3	1	4,4
April	1	1,6	2	3,0	1	10,7	0	11,0	1	5,8
Mai	1	2,8	2	9,0	2	4,9	1	6,5	1	9,7
Juni	1	8,9	2	0,1	2	9,5	1	3,1	1	6,9
Juli	1	11,1	2	0,8	3	0,7	2	1,9	2	3,4
August	1	8,5	2	7,2	3	0,0	2	6,9	2	4,9
Sept.	1	6,8	2	2,7	4	1,0	1	6,2	2	1,8
October	1	7,5	2	11,2	3	11,0	2	1,9	2	4,5
Nov.	1	7,8	2	10,4	2	11,7	1	9,4	2	5,3
Dec.	1	3,0	3	0,9	2	11,4	1	10,3	1	11,7
Jahr	17	1,7	28	4,3	34	8,0	20	0,1	23	4,2
Winter	20,8		24,3		24,6		24,9		23,4	
Frühling	19,6		23,9		18,3		17,8		19,9	
Sommer	31,3		23,5		25,5		29,9		26,8	
Herbst	28,2		28,3		31,6		27,3		29,9	

Hier zeigen die Sommerregen ein entschiedenes Uebergewicht über die Winterregen und übertreffen zu Glasgow, noch mehr aber zu Lyndon, selbst die Herbstregen. Hiermit stimmt überein, daſs die Bewohner Lyndons in der Regel auf einen heitern Herbst rechnen. Im Mittel erhält man auf 100 reducirt für den Winter 23,0, den Frühling 20,6, den Sommer 26,0, den Herbst 30,4. Wie wohlbegründet übrigens diese Regel im Ganzen auch seyn mag, so zeigen sich doch einige sehr auffallende Ausnahmen, wie die folgenden Beispiele darthun.

Monat.	Aberdeen[1]	Carbeth[2]	Carlisle[3]
	Zoll.	Zoll.	Zoll.
Januar	2,34	3,887	1,830
Februar	1,04	3,689	2,313
März	1,80	3,341	2,058
April	2,15	1,542	0,391
Mai	1,04	3,404	1,633
Juni	1,98	2,768	2,130
Juli	3,43	3,083	4,747
August	3,87	3,227	2,912
September	2,69	3,822	2,036
October	1,56	3,191	0,440
November	2,78	3,536	0,438
December	2,96	3,595	3,381
Jahr	27,64	39,085	24,309
Winter	22,94	28,55	30,97
Frühling	18,05	21,22	16,79
Sommer	33,58	23,22	40,28
Herbst	25,43	26,99	11,96

Von diesen drei Orten ist Carlisle in dieser Beziehung wenig beweisend, indem die Beobachtungen bloſs vom Jahre 1805 sind, welches sich durch einen heitern und trocknen Herbst vorzüglich auszeichnete; desto auffallender ist Aberdeen wegen seiner nicht bedeutenden Entfernung von Edinburg und der Genauigkeit der Beobachtungen.

Das Uebergewicht der Herbstregen zeigt sich auch an folgenden Orten.

Monat.	Bordeaux		Rochelle		Vallerie		St. Maurice le Girard		Sparendam.	
	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.
Januar	2	5,2	2	4,8	1	8,5	1	3,7	1	0,0
Februar	1	10,2	1	9,3	1	10,4	3	2,1	0	7,7
März	1	5,1	1	7,1	1	5,7	0	8,0	1	6,6
April	1	8,8	1	6,0	1	7,5	0	8,0	2	9,5
Mai	2	0,5	1	8,4	1	11,0	1	2,0	2	0,1
Juni	2	5,8	1	5,1	1	3,0	2	1,4	1	7,3
Juli	1	9,2	1	8,0	1	8,8	1	0,0	5	2,3
August	1	7,3	1	3,1	1	4,5	1	5,2	1	3,2
Sept.	1	6,5	2	3,2	2	0,1	1	7,4	3	4,2
October	2	4,5	3	0,7	3	4,6	3	5,4	4	10,2
Novemb.	2	7,2	2	11,5	2	6,2	3	4,0	4	6,4
Decemb.	2	5,3	2	7,5	2	10,9	3	2,3	2	9,3
Jahr	24	3,6	24	2,7	23	9,2	23	1,5	31	6,8
Winter	27,7		28,2		27,3		33,2		14,0	
Frühling	21,4		19,7		21,1		10,8		20,1	
Sommer	24,1		17,9		18,3		19,7		25,5	
Herbst	26,7		34,2		33,3		36,3		40,4	

1 Zweijährige Beobacht. von Innes in Edinb. New Phil. Journ. N. XXI. 158.

2 Fünfjährige Beobachtungen in Edinb. Phil. Journ. N. X. p. 395.

3 Einjährige Beobachtungen von Pitt in G. XXIX. S. 223.

Digitized by Google

Monat.	Franecker		Rotterdam		Breda		Middelburg		Zwanenburg	
	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.
Januar	1	10,0	1	6,0	1	7,8	2	6,6	1	5,0
Februar	2	0,3	1	0,1	1	6,4	1	7,8	1	6,5
März	1	6,0	1	0,9	1	2,2	1	6,6	1	5,3
April	1	3,6	1	7,6	1	1,3	0	11,1	1	5,8
Mai	2	0,0	2	0,1	2	1,7	1	1,4	1	6,8
Juni	2	3,5	1	6,4	1	10,8	2	1,6	2	2,0
Juli	3	1,7	2	1,9	2	9,2	1	11,4	2	6,3
August	2	9,6	2	6,2	1	2,8	3	11,0	3	0,0
Sept.	2	11,0	2	10,7	3	1,7	3	2,8	2	9,5
October	2	9,8	2	0,8	1	11,3	2	9,2	2	10,8
Novemb.	3	6,3	1	9,7	3	5,9	2	3,2	1	7,0
Decemb.	2	4,9	1	0,0	2	6,5	1	4,0	1	11,3
Jahr	28	6,7	21	2,4	24	7,6	25	4,7	24	4,3
Winter	21,9		16,5		23,2		21,8		20,1	
Frühling	16,8		22,3		18,0		14,1		18,4	
Sommer	28,8		29,3		23,9		31,5		31,6	
Herbst	32,5		31,9		34,9		32,6		29,9	

Das Mittel aus allen diesen Orten giebt auf 100 reducirt für den Winter 23,4, Frühling 18,3, Sommer 25,1, Herbst 33,3.

Nach Kämtz zerfällt Frankreich in zwei verschiedne Regionen, die nördliche, welche den SW.-Wind vom atlantischen Meere her erhält, und die südliche, die hiergegen durch die Pyrenäen geschützt, dagegen denen, die vom mittelländischen Meere herkommen, ausgesetzt ist; als Grenze nimmt er eine Linie an, welche nordöstlich von Bordeaux bis Orleans und von dort östlich bis an den Rhein geht. Zur erstern rechnet er folgende Orte, denen ich noch zwei andere gleichfalls dahin gehörige hinzufüge.

Digitized by Google

Monat.	Poitiers		Paris		Montmorency		Brüssel		Leyden[1]
	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.	Zoll.
Januar	1	4,6	1	4,8	1	9,0	0	9,5	3,34
Februar	1	1,2	1	6,1	1	5,6	1	1,8	3,28
März	0	8,2	1	0,2	1	8,0	1	4,8	3,30
April	1	11,4	1	11,6	1	3,0	1	3,4	3,26
Mai	1	9,4	2	2,6	2	4,3	1	6,8	3,00
Juni	2	10,4	2	3,2	2	4,2	1	10,9	3,60
Juli	1	10,8	2	2,2	2	1,4	1	10,3	4,40
August	2	2,3	1	10,8	1	9,0	1	8,9	4,91
Sept.	2	7,8	1	10,4	1	10,6	2	0,1	5,01
October	1	6,8	1	4,4	1	7,5	1	6,1	5,30
Nov.	2	4,0	1	8,8	1	9,6	1	3,3	5,36
Dec.	1	9,3	1	4,7	1	4,9	1	4,9	5,12
Jahr	22	2,0	20	9,8	21	5,9	17	10,8	49,88
Winter	19,2		20,7		21,5		18,7		23,54
Frühling	19,9		25,0		24,9		23,7		19,16
Sommer	31,4		30,5		28,9		30,7		25,88
Herbst	29,5		23,8		24,7		26,9		31,41

Monat.	M. St. Vinoir		Cambray		Metz		Troyes		Maestricht[2]
	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.	Zoll.
Januar	1	9,9	0	10,2	2	0,9	1	8,2	2,925
Februar	1	7,1	0	5,0	1	8,0	0	11,2	5,652
März	1	10,2	0	8,1	1	5,2	1	1,5	2,358
April	1	0,4	1	1,4	2	8,3	2	0,0	7,502
Mai	1	5,8	1	8,5	2	9,0	3	0,2	3,804
Juni	2	0,0	1	8,0	1	9,0	2	2,5	10,818
Juli	2	2,1	2	3,1	2	0,7	2	0,3	4,557
August	2	4,1	1	7,3	2	2,6	2	0,8	9,798
Sept.	2	1,0	1	7,3	3	2,5	1	8,5	7,128
October	2	2,8	1	9,2	1	8,6	0	11,7	4,804
Nov.	2	0,2	1	7,0	3	6,7	3	0,9	4,581
Dec.	3	3,7	0	9,4	2	1,5	1	6,9	6,083
Jahr	23	11,3	16	0,5	27	3,0	22	4,7	70,010
Winter	28,1		13,8		21,6		18,7		20,940
Frühling	18,2		21,9		25,2		27,4		19,518
Sommer	27,2		33,4		21,1		28,1		35,956
Herbst	26,5		30,9		31,1		25,8		23,586

1 Musschenbroek Introd. T. II. §. 2364.

2 Einjährige Beobachtungen von 1830. In Quetelet Correspond. astron. T. VII. p. 182.

Monat.	Mühlhausen		Straſsburg		Hagenau		Coblenz.	
	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.
Januar	2	0,3	1	3,2	2	1,2	1	1,1
Februar	1	11,1	1	4,4	1	4,8	0	8,2
März	1	3,3	1	6,2	1	8,3	1	7,1
April	3	3,1	1	5,9	1	9,0	1	5,6
Mai	2	11,7	3	0,4	1	10,5	1	11,3
Juni	3	2,4	3	0,1	2	8,5	2	4,0
Juli	1	9,5	3	2,8	1	1,2	2	5,5
August	3	1,4	2	5,7	3	2,2	2	6,1
Sept.	1	9,2	2	7,6	3	0,0	2	2,7
October	2	3,6	1	11,2	1	9,5	1	2,9
Nov.	3	3,3	2	1,7	3	3,3	1	8,4
Dec.	1	5,9	1	5,6	1	2,1	1	7,0
Jahr	28	4,8	25	6,8	25	0,6	20	9,9
Winter	19,2		16,0		18,7		16,2	
Frühling	26,4		23,6		21,2		24,0	
Sommer	28,5		34,1		28,0		35,0	
Herbst	25,9		26,3		32,0		24,8	

An allen diesen Orten sind die Sommerregen vorherrschend, mit alleiniger Ausnahme von Leyden, Metz und Hagenau, wo unbekannte, vielleicht locale, Ursachen den Herbstregen das Uebergewicht geben. Aus allen, auf 100 reducirt, erhält man im Mittel für den Winter 19,5, Frühling 23,4, Sommer 29,8, Herbst 27,3.

Deutschland, welches im Süden durch eine hohe Gebirgskette begrenzt ist, nördlich sich in eine ausgedehnte Ebene verläuft, muſs mehrfache Anomalieen zeigen. Kämtz theilt dasselbe in drei Regionen: die der norddeutschen Ebene, die Böhmische und die von Würtemberg und Baiern, jedoch sind zu wenige Beobachtungen vorhanden, um die Eigenthümlichkeiten dieser einzeln zu untersuchen, wohl aber ist ihre Zahl genügend zum Beweise des Vorherrschens der Sommerregen.

Digitized by Google

Monat	Mannheim		Heidelberg[1]	Carlsruhe		Stuttgart		Tübingen.	
	Z.	L.	Z.	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.
Januar	1	6,4	1,36	1	7,0	1	1,5	1	2,5
Februar	1	0,8	1,49	1	7,7	1	10,2	0	10,8
März	1	3,9	1,97	1	10,1	1	3,6	1	4,5
April	1	9,7	1,48	1	8,6	1	4,3	1	3,1
Mai	1	10,1	2,37	2	4,5	2	0,6	2	5,5
Juni	2	6,3	3,00	2	5,6	3	2,4	3	1,8
Juli	2	3,6	2,74	2	10,4	2	0,4	3	2,7
August	2	0,2	2,31	2	4,5	2	8,5	3	1,9
Sept.	2	0,5	1,91	2	2,4	2	7,4	2	2,5
October	1	10,3	1,57	2	0,0	1	10,0	1	10,3
Nov.	1	5,3	2,55	2	3,3	1	10,4	1	8,2
Dec.	1	3,0	1,99	2	2,5	1	9,7	1	4,7
Jahr	21	0,1	24,74	25	6,6	23	9,0	23	10,5
Winter	18,3		19,55	21,3		20,1		14,7	
Frühling	23,7		23,54	22,5		19,8		21,4	
Sommer	32,6		32,53	31,0		33,5		39,9	
Herbst	25,4		24,38	25,2		26,6		24,0	

Monat.	Würzburg		Giengen		Genkingen		Ulm.	
	Z.	L.	Z.	L.				
Januar	1	5,0	1	7,1				
Februar	1	6,3	1	1,1				
März	1	5,9	1	4,8				
April	1	1,2	1	4,1				
Mai	1	3,0	3	0,9				
Juni	1	7,1	3	16,7				
Juli	1	2,3	2	0,0				
August	1	2,4	3	2,9				
September	1	2,9	2	1,1				
October	0	10,9	1	9,4				
November	1	0,1	2	1,6				
December	0	10,6	1	4,1	Z.	L.	Z.	L.
Jahr	14	0,7	25	5,8	35	5,7	25	1,9
Winter	25,8		15,8		17,3		21,3	
Frühling	25,9		22,8		27,0		19,5	
Sommer	26,9		37,8		32,9		36,6	
Herbst	21,4		23,6		22,7		22,6	

1 Die Gröſsen der hiesigen Regenmengen sind von mir aus eigenen, 14 Jahre hindurch von 1819 bis 1832 angestellten Beobachtungen entnommen. Die geringste Regenmenge hatte das Jahr 1822 mit 15,40 Zoll, die stärkste 1824 von 33,64 Zoll, das berühmte Regenjahr 1829 hatte dagegen nur 27,8 Zoll. Das Uebergewicht der Herbstregen folgt aus den gewöhnlich starken und anhaltenden Regen im Anfange Novembers, welcher zwar hauptsächlich 1824 ausgezeichnet

Monat.	Regensburg		Tegernsee		Andex		Peiſsenberg.	
	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.
Januar	1	3,2	2	2,7	2	6,0	0	10,0
Februar	1	2,1	3	0,3	1	4,9	0	11,0
März	1	0,3	2	5,1	2	2,2	0	9,5
April	0	11,4	2	4,1	2	0,0	1	0,5
Mai	1	8,9	3	4,2	2	0,2	2	5,4
Juni	2	5,1	6	9,8	4	4,7	3	4,8
Juli	3	2,4	6	8,0	3	5,0	3	6,8
August	2	9,8	6	0,4	4	0,3	2	10,8
September	1	11,7	3	5,4	1	3,5	1	7,8
October	1	5,4	3	6,0	1	3,8	1	4,6
November	1	4,8	1	11,6	1	4,4	0	10,0
December	1	7,7	1	11,1	1	4,9	0	11,1
Jahr	21	0,8	43	9,6	27	3,9	20	8,3
Winter	19,3		16,4		19,5		12,9	
Frühling	17,7		18,5		22,7		20,7	
Sommer	40,1		44,7		43,3		47,7	
Herbst	22,9		20,4		14,5		18,7	

Monat.	Augsburg		Göttingen		Erfurt		Sagan		Prag.	
	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.
Januar	2	4,8	1	2,5	0	6,3	0	11,7	0	5,6
Februar	2	1,2	1	7,6	0	10,0	1	1,1	1	2,2
März	2	3,5	1	5,6	0	6,7	1	0,1	0	8,0
April	1	9,0	1	9,0	0	11,3	0	11,1	0	9,3
Mai	4	4,6	1	4,3	1	2,7	1	0,0	2	1,5
Juni	4	0,0	2	5,1	1	2,0	1	10,1	0	5,4
Juli	4	11,4	3	1,0	1	9,7	2	2,2	1	3,7
August	3	11,7	3	5,1	2	2,2	1	10,0	3	6,3
September	3	4,8	2	8,6	1	1,2	1	1,8	1	4,4
October	3	4,3	2	0,2	0	10,5	1	5,2	1	5,3
November	2	10,4	2	0,8	0	9,1	1	1,5	1	8,9
December	2	2,6	1	8,9	0	7,1	1	2,9	0	4,1
Jahr	36	8,3	24	10,7	12	6,8	15	9,7	15	4,7
Winter	18,3		18,4		15,5		20,9		12,9	
Frühling	23,0		18,1		21,7		18,5		23,2	
Sommer	35,2		35,9		41,0		37,1		34,3	
Herbst	23,5		27,6		21,8		23,5		29,6	

An allen diesen Orten sind die Sommerregen die stärksten, die Winterregen dagegen am kleinsten, mit alleiniger Ausnahme von Würzburg[1], worüber zu entscheiden künftigen

war, aber auch in der Regel nicht regenarm ist. Ohne Regen war bloſs der Januar 1829 und 1830, der Februar und October 1832, der November 1828 und der December 1822 und 1829.

1 Kämtz stimmt mit Gasparin überein; beide entnahmen die Be-

Beobachtungen nach Kämtz überlassen bleiben soll. Inzwischen haben wir auch in den übrigen Zusammenstellungen mehrere einzelne, auf Localursachen beruhende Ausnahmen angetroffen. Die sämmtlichen Gröſsen, auf 100 reducirt, geben folgende Verhältnisse: Winter 18,2, Frühling 21,6, Sommer 37,1, Herbst 23,2.

Daſs die Regen im Allgemeinen aus den Luftmassen niedergeschlagen werden, die vom Meere und hauptsächlich aus wärmern Gegenden herbeiströmen, ist wohl keinem Zweifel unterworfen, auch läſst sich nach triftigen Gründen annehmen, daſs diese, die anfangs in den höhern Regionen der Atmosphäre flieſsen, sich später über dem europäischen Continente tiefer herabsenken. Kämtz hat indeſs scharfsinnig noch eine andere Bedingung aufgefunden, welche gleichfalls sehr wesentlich ist, indem er annimmt, daſs die Regen erzeugenden Luftmassen im Sommer höher gehn, als im Winter, und daher zu jener Zeit durch örtliche Bedingungen nicht so sehr gehindert werden, ihren Wassergehalt abzugeben, als in dieser. Hiernach findet er also für diejenigen Orte, die niedriger als 2000 F. hoch liegen, und für solche, die höher sind, ein verschiedenes Verhältniſs, nämlich die Frühlings- und Sommerregen an den letzteren gröſser. Zur Vergleichung nimmt er Stuttgart 847 F., Tübingen 1010 F., Regensburg 1043 F., Ulm 1432 F. und Augsburg 1464 F. für jene; Tegernsee 2263 F., Andex 2282 F., Genkingen 2400 F. und Peiſsenberg 3087 F. für diese[1], wozu ich als dritte Gruppe Mannheim 258 F., Heidelberg 313 F. und Carlsruhe 361 F. setze und hiernach folgende drei Gruppen finde.

---

stimmungen aus den Mannheimer Ephemeriden. Nach Schübler dagegen (Grundsätze der Meteorologie S. 136.) sind die Frühlingsregen die stärksten, denn er hat folgende Verhältniſszahlen: Winter 1,1, Frühling 1,33, Sommer 1,15, Herbst 0,84. Man findet überhaupt in den Angaben groſse Verschiedenheiten. Unter andern hat Schübler für Mannheim 145 Regentage und 1,63 Lin. tägl. mittlere Regenhöhe, welches im Ganzen nur 19,7 Z. Regen giebt. Es fehlt also noch sehr an zuverlässigen Beobachtungen; inzwischen sind die Carlsruher, meine eigenen und die Tübinger gewiſs richtig und bestätigen also das aufgestellte Gesetz.

1 Die angenommenen Höhen stimmen mit den oben Bd. V. S. 839. angegebenen nicht sämmtlich genau überein, indeſs behalte ich die

	Unter 1000 F.	Unter 2000 F.	Ueber 2000 F.
Winter	19,72	18,2	16,5
Frühling	23,25	20,7	22,2
Sommer	32,04	37,2	42,2
Herbst	24,99	23,8	19,1

Es würde sehr interessant seyn, das angegebene Verhältniſs weiter im Innern des europäischen Continents aufzusuchen, allein hierzu fehlen die Beobachtungen. Einige sind jedoch vorhanden, die ich mit denen aus Skandinavien verbinde, um einige Folgerungen daraus abzuleiten.

Monat.	Ofen		Petersburg		Bergen		Kopenhagen		Apenrode [1].
	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.	Z.
Januar	1	2,2	0	8,4	7	3,4	0	10,7	2,152
Februar	0	7,9	0	8,9	6	10,8	0	11,2	0,555
März	1	7,6	0	9,5	6	9,7	0	8,1	0,238
April	1	1,7	1	0,7	4	3,1	0	10,5	1,340
Mai	1	3,4	1	3,8	3	8,6	1	1,4	0,491
Juni	1	3,8	2	1,0	4	7,6	1	7,3	0,326
Juli	1	4,3	2	2,6	4	11,0	2	2,2	1,579
August	1	6,4	2	0,3	7	10,9	2	8,8	2,936
Sept.	1	4,6	2	5,7	10	3,1	1	9,1	0,773
October	1	6,8	1	8,0	8	8,2	1	5,7	1,162
Nov.	1	9,2	1	2,0	9	11,1	1	7,0	4,227
Dec.	1	2,6	0	10,3	7	10,5	1	5,8	5,292
Jahr	16	0,5	17	1,2	83	2,0	17	3,8	21,071
Winter	19,1		13,6		26,6		19,1		37,962
Frühling	25,3		19,4		17,9		15,4		9,820
Sommer	26,2		36,5		21,0		37,7		22,974
Herbst	29,4		30,5		34,5		27,8		29,244

hier vorgefundenen bei, obgleich jene wohl richtiger sind. Zugleich ist zu berücksichtigen, daſs die in der genannten Tabelle befindlichen Höhenpuncte sich auf den Spiegel der Flüsse oder das Straſsenpflaster, aber nicht auf den Stand des Regenmaſses beziehn.

1 Einjährige Beobachtungen von Neuber in Collectanea meteorologica. Hafniae 1829. 4.

Monat.	Lund		Stockholm		Upsala		Åbo.	
	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.
Januar	0	10,9	0	10,5	1	0,9	1	4,0
Februar	1	0,3	0	7,4	0	8,9	1	5,0
März	0	9,2	0	7,0	0	10,0	1	7,6
April	1	1,2	0	7,5	1	4,0	1	5,0
Mai	1	2,2	1	4,0	1	4,0	1	4,4
Juni	1	6,7	1	5,3	1	8,6	1	4,0
Juli	2	4,0	2	1,8	1	11,3	2	5,1
August	2	1,0	3	8,4	1	9,7	3	0,0
September	1	11,9	2	10,6	1	9,8	3	0,0
October	2	0,6	1	10,4	1	6,4	2	11,5
November	1	9,3	1	9,2	1	5,4	2	8,8
December	1	4,0	1	4,1	1	0,9	1	6,3
Jahr	18	1,3	19	2,2	16	7,9	24	1,7
Winter	18,0		14,8		17,4		17,7	
Frühling	16,9		13,3		21,0		18,3	
Sommer	33,0		38,0		32,8		28,0	
Herbst	32,1		33,9		28,8		36,0	

Unter allen diesen Orten ist Bergen am ausgezeichnetsten wegen seiner auſserordentlichen, den tropischen Ländern nahe kommenden Regenmenge, die der Küste Norwegens überhaupt eigenthümlich zuzugehören scheint und mit dem dortigen milden Klima im innigsten Zusammenhange steht. Man ersieht bald, daſs die Ursache hiervon in den warmen, mit Wasserdampf übersättigten Luftmassen liegt, welche über dem weit ausgedehnten Golfstrome aufgestiegen durch südwestliche Winde herbeigetrieben werden und sich über Bergens Küsten, ebenso wie über der Insel Mageröe am Nordkap unter 71° N. B., zu steten dichten Nebeln und Regen verdichten. Diese und westliche Winde sind auſserdem in Europa im Herbste vorherrschend, und diejenigen Länder, denen die Luftmassen von den im Sommer erwärmten Meeren zugeführt werden, müssen daher im Herbste überwiegende Regenmengen haben. Wir finden diese daher zu Ofen, Bergen und Åbo am gröſsten, indem sie an den erstern Ort vom adriatischen Meere aus gelangen, ohne über die Karpathen zu dringen, und ich bin diesemnach nicht geneigt, das Uebergewicht der Herbstregen zu Ofen mit Kämtz aus einer Mangelhaftigkeit der Beobachtungen abzuleiten. Wo der unmittelbare Einfluſs dieser Winde aufhört, kommt sogleich das europäische Continentalklima mit überwiegenden Sommerregen zum Vorschein, weil die in dieser

Digitized by Google

Jahreszeit über den Ebenen des europäischen Continents mit Wasserdampf überladenen, durch südliche und südwestliche Luftströmungen herbeigeführten Luftmassen in jenen kältern Gegenden ihren Wassergehalt durch Abkühlung abgeben, wie sich namentlich am deutlichsten zu Petersburg und an den übrigen Orten zeigt, so daſs also alle bisher mitgetheilte Resultate mit wenigen, durch eigenthümliche örtliche Einflüsse erzeugten Ausnahmen einen genauen Zusammenhang erkennen lassen.

Aus dem südlichen Europa ist eine groſse Menge von Beobachtungen vorhanden, aus denen sich das Hauptgesetz ableiten läſst. Ebenso wie im nordwestlichen Theile finden wir auch hier die Herbstregen vorherrschend, und wir können also annehmen, daſs dieses überall in denjenigen Gegenden der Fall ist, denen die vom Meere aufsteigenden Luftmassen ungehindert zugeführt werden. Wohl möglich ist es hierbei, daſs nach der Ansicht von Kämtz die von der Sahara herkommenden Luftströme entscheidend wirken, einfacher aber scheint es mir anzunehmen, daſs die bedingenden Ursachen näher und zwar in dem Einflusse des mittelländischen Meers zu suchen sind. Im Sommer nämlich werden die Länder zu sehr erwärmt, als daſs die vom kältern Meere herkommenden Luftmassen ihren Wassergehalt verlieren könnten, im Herbste aber, wenn das langsamer sich erwärmende Meer seine höchste Temperatur erreicht hat, die der Länder aber, hauptsächlich wegen abnehmender Tagslänge, bereits herabzugehn anfängt, zugleich auch wenn in windstillen Sommertagen die dampfhaltigen Luftschichten anhaltend zu einer bedeutenden Höhe aufgestiegen sind, dann werden die Regen am häufigsten seyn. Oertliche Ursachen ändern dieses allgemeine Gesetz ab, namentlich hohe Gebirgsmassen, und insbesondere muſs es sehr natürlich erscheinen, daſs die von den beeisten Alpenspitzen nach pneumatischen Gesetzen herabsinkenden kalten Luftmassen in den an den Orten selbst aufgestiegenen, oder durch schwache Winde herbeigeführten, wärmeren und dampfhaltigen einen Niederschlag erzeugen, sonach also Sommerregen vorherrschen, weil ein solcher Proceſs in dieser Jahreszeit am leichtesten statt finden kann Um zu zeigen, wie diese theoretische Betrachtung durch die Erfahrung bestätigt wird, bediene ich mich der lehrreichen Zusammenstellung der Beobachtungen aus dem südlichen Frankreich

Digitized by Google

und der Schweiz, welche sich in dem mehrgenannten Werke von Kämtz[1] befindet, woraus sich dann ergeben wird, wie die Herbstregen des erstern Landes im zweiten allmälig zu Sommerregen übergehn.

Monat.	Beziers		Montpellier		Marseille		Toulon	
	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.
Januar	1	9,8	2	10,0	1	5,7	2	0,1
Februar	1	0,6	1	8,2	0	10,6	1	0,1
März	1	5,8	2	3,4	1	8,5	1	2,8
April	1	4,9	2	2,7	1	5,4	1	5,9
Mai	1	4,8	2	3,4	1	5,3	1	5,8
Juni	1	2,0	1	10,2	1	2,3	0	7,9
Juli	0	3,3	0	9,8	0	6,8	0	4,1
August	0	5,8	1	2,8	0	9,9	0	7,6
September	0	11,2	2	8,4	2	11,5	2	5,6
October	1	2,0	5	2,3	3	5,3	2	7,9
November	3	0,7	3	2,7	2	9,4	2	6,1
December	2	0,0	4	1,0	1	10,8	1	0,0
Jahr	16	2,9	30	4,9	20	7,5	17	5,9
Winter	29,9		28,3		20,8		23,0	
Frühling	26,4		22,3		22,3		24,1	
Sommer	11,8		12,8		12,5		9,3	
Herbst	31,9		36,6		44,4		43,6	

Monat.	Arles		Nimes		Manosque		Orange	
	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.
Januar	1	4,0	1	7,7	0	8,0	1	3,7
Februar	2	0,3	1	10,0	1	2,5	1	11,2
März	2	7,2	1	8,9	2	4,3	1	6,2
April	1	0,0	1	10,2	2	7,8	2	3,8
Mai	1	6,7	2	1,1	2	6,3	2	2,6
Juni	0	7,2	1	0,6	0	11,2	1	10,8
Juli	0	4,3	1	0,1	0	3,7	1	4,4
August	1	4,8	1	2,9	0	11,2	1	8,3
September	2	0,3	3	4,8	2	5,8	3	11,7
October	3	10,2	2	4,6	3	8,7	4	4,9
November	2	8,8	3	8,1	2	1,0	3	4,9
December	2	9,7	1	9,8	2	1,3	2	4,7
Jahr	22	3,5	23	8,8	21	11,8	28	5,2
Winter	27,6		22,3		18,1		19,8	
Frühling	23,1		24,0		34,2		21,3	
Sommer	10,5		13,9		9,9		17,4	
Herbst	38,8		39,8		37,8		41,5	

1 Die Quellen finden sich daselbst angegeben. Sie sind hauptsächlich die mannheimer Ephemeriden, welche auch Gasparin benutzt hat, Cotte's Memoiren und einzelne Abhandlungen in der Bibl. univ.

Monat.	Viviers Z.	Viviers L.	Joyeuse Z.	Joyeuse L.	Bourg en Bresse Z.	Bourg en Bresse L.	Dijon Z.	Dijon L.	Toulouse Z.	Toulouse L.
Januar	2	5,7	3	6,7	3	5,0	1	8,1	1	8,8
Februar	1	8,5	2	10,6	3	0,0	0	11,2	1	6,2
März	1	11,1	2	3,8	3	10,0	1	5,5	1	11,1
April	2	8,2	3	6,7	2	9,0	2	0,0	1	11,5
Mai	2	11,2	5	2,8	4	0,9	2	7,8	2	3,9
Juni	2	6,8	2	5,0	3	7,0	2	0,0	2	10,2
Juli	1	10,6	2	7,1	3	3,0	3	3,3	1	6,3
August	2	4,2	2	8,6	3	9,0	1	4,0	1	3,7
Sept.	4	1,7	5	7,2	3	11,0	1	5,3	2	6,8
October	4	8,9	7	10,3	4	7,0	3	2,7	2	1,9
Nov.	4	2,2	5	9,7	4	7,0	2	3,1	2	0,9
Dec.	2	4,8	3	2,6	2	7,0	1	7,9	1	8,6
Jahr	33	11,9	47	8,0	43	3,9	23	10,9	23	7,9
Winter	19,4		20,3		20,8		17,9		21,0	
Frühling	22,2		23,1		24,6		25,6		26,2	
Sommer	20,0		16,2		24,4		27,6		24,0	
Herbst	38,4		40,4		30,2		28,9		28,8	

Monat.	Genf Z.	Genf L.	Lausanne Z.	Lausanne L.	Bern Z.	Bern L.	Zürich Z.	Zürich L.
Januar	2	2,6	1	11,1	2	0,8	2	1,8
Februar	1	9,9	2	0,4	4	2,5	2	8,8
März	1	9,3	2	3,7	2	4,0	2	4,6
April	1	10,6	2	1,6	2	5,4	2	9,0
Mai	2	10,0	3	1,4	3	10,5	2	5,6
Juni	2	11,8	4	6,9	5	4,7	3	4,1
Juli	3	2,9	3	7,6	4	1,4	3	11,7
August	2	7,5	5	9,2	5	8,0	3	4,8
September	2	5,9	2	6,3	3	2,1	2	4,1
October	2	10,4	5	0,7	4	7,6	3	7,8
November	2	7,6	2	10,8	2	7,3	1	4,2
December	2	4,8	1	9,4	2	9,1	1	7,6
Jahr	29	9,3	37	9,1	43	3,4	32	2,1
Winter	21,6		15,2		20,9		20,3	
Frühling	21,8		20,0		20,0		23,6	
Sommer	29,7		37,0		35,1		33,3	
Herbst	26,9		27,8		24,0		22,8	

Das angegebene Gesetz wird durch die hier mitgetheilten Thatsachen genügend bestätigt; auch macht die Erklärung des ungleichen Verhältnisses zwischen den Sommerregen und Winterregen an den verschiedenen Orten nach der hierüber aufgestellten Vermuthung keine Schwierigkeiten. Auffallend finde

ich dagegen die geringe absolute Regenmenge, z. B. in Beziers, Marseille und Toulon, ungeachtet ihrer südlichen Lage, was ich mir nicht wohl anders als aus der Hypothese erklären kann, daſs die vom Meere aufsteigenden dampfhaltigen Luftmassen in zu groſsen Höhen strömen, als daſs sie über flachen Gegenden in nicht groſser Entfernung von der Küste sich ihres Wassergehalts über den sehr erwärmten Küsten entledigen könnten[1]. Ungleich leichter ist die groſse Regenmenge zu Joyeuse erklärbar, wo ungefähr 3 Meilen von der Stadt entfernt sich der Tanargue in einer Richtung von O. nach W. bis zu 4500 F. Höhe erhebt, von welchem daher die kalten Luftschichten herabströmen, sich mit den in ihrem Fortgange von Süden her gehinderten Luftmassen vereinigen und die bedeutenden Niederschläge erzeugen. Das arithmetische Mittel aus den ersten 13 Orten giebt für das südliche Frankreich in Procenten für den Winter 22,4, den Frühling 24,57, den Sommer 16,14, den Herbst 37,01 mit einem bedeutenden Uebergewichte der Winterregen über die Sommerregen, aus den 4 letzten erhält man aber für den Winter 19,5, den Frühling 21,35, den Sommer 33,95, den Herbst 25,60 mit überwiegendem Vorherrschen der Sommerregen.

In Italien vereinigen sich die mannigfaltigsten Bedingungen, welche auf die Regenmengen an den verschiednen Orten einen entscheidenden Einfluſs ausüben. Das Land ist an beiden Seiten seiner Länge nach von Meeren begrenzt, im Norden durch eine zusammenhängende Kette der höchsten europäischen Berge, und auſser den zu einer bedeutenden Länge sich erstreckenden Appenninen hat es noch einzelne Berge von nicht unbeträchtlicher Höhe; den Einfluſs des benachbarten beeisten Aetnagipfels nicht zu erwähnen. Es darf uns daher nicht zu sehr wundern, daſs nach den verschiednen herrschenden Winden und dem Einflusse, welchen die

---

1 Schouw a. u. a. O. findet die Ursache im Mangel vorhandner Gebirge, desgleichen in dem Umstande, daſs die trocknern africanischen Luftmassen der europäischen Südküste zugeführt werden. Ungleich wichtiger aber ist sicher die stärkere Erwärmung der Küsten als die des Meers, insbesondere wenn man berüchsichtigt, daſs nach Dove's richtiger Ansicht die kältern Luftströmungen tiefer gehend die wärmern aufrollen, die letztern aber sich über die erstern hinwälzen.

Digitized by Google

eben genannten Bedingungen auf die durch diese herbeigeführten Luftmassen ausüben, bei einer im Ganzen nicht übermäſsig groſsen Regenmenge einzelne ungewöhnlich starke Regengüsse statt ſinden und manche Jahre abwechselnd sich eben so sehr durch anhaltende Dürre als durch langdauernde Nässe auszeichnen. Auch hier kommen daher die so eben in Beziehung auf das südliche Frankreich angegebenen wirkenden Ursachen in Betrachtung, und zwar um so mehr, als Italien an jeder Seite von einem Meere begrenzt ist, die im Norden liegenden Berge aber weit höher sind, als es deren im südlichen Frankreich giebt. Rücksichtlich des Einflusses der Berge ist man übrigens schon lange gewohnt, anzunehmen, daſs die dampfhaltigen Luftmassen durch sie aufgehalten sich ihres Wassers entledigen, weniger aber pflegt man auf die von ihnen herkommenden kalten Luftschichten ein Gewicht zu legen, die in die heiſsen Ebenen herabsinkend dort gleichfalls Niederschläge erzeugen, beide Ursachen scheinen mir aber in Italien Beachtung zu verdienen. Schouw[1] ist wohl ohne Zweifel derjenige, welcher den verschiedenen, die Regenzeiten und Regenmengen dort bedingenden Ursachen die meiste Aufmerksamkeit gewidmet hat. Nach ihm beträgt die in den Ebenen des venetianisch-lombardischen Königreichs am südlichen Abhange der Alpen fallende Regenmenge 54 bis 55 Zoll, an einigen Orten sogar 80 bis 90 Zoll, in den ausgedehnten Ebenen aber nicht mehr als 36 bis 37 Zoll, und geht dort nirgends über 45 Z. hinaus; in den südlichern Ebenen am Fuſse der Appenninen steigt sie nur bis 28 Z. und nirgends über 32 Zoll. Auſserdem ist die Regenmenge an der östlichen Seite der lombardischen Ebene gröſser als an der westlichen, indem sie auf der Ostseite des Garda-Sees bis 59 Zoll steigt, während sie auf der Westseite nur bis 40 Zoll beträgt. Am mittäglichen Fuſse der Appenninen, wo dieses Gebirge eine östliche Richtung annimmt, so wie an der Küste von Genua ist die Regenmenge gröſser, als am entgegengesetzten nördli-

---

1 Ferussac Bullet. 1826. Mai p. 344. ein Auszug aus Oersted Oversigt cet. 1825. Vergl. Schouw Pflanzengeographie. S. 385. Kämtz I. 472. führt auſserdem die Tidsskrift for Naturvidenskaberne N. 12. p. 329. an, die mir nicht zu Gebote steht. Indeſs beſindet sich ein Auszug des wesentlichsten Inhalts in Hertha Th. V. S. 90.

Digitized by Google

chen, und erreicht 42 bis 43 Zoll Höhe. Nach seiner Anſicht bringen die westlichen und südlichen Winde, welche aus wärmern nnd feuchtern Gegenden kommen, ebenso wie der SW.-Wind, welcher die Eigenschaften beider vereinigt, den meisten Regen. Hieraus werden die starken Regen an der Südseite der Appenninen erklärlich, die im mittäglichen Theile der Lombardei geringer seyn müssen, weil die dort ankommenden Luftmassen bereits einen groſsen Theil ihres Wassergehalts abgegeben haben. Die von hier aus den Alpen zuflieſsenden Luftmassen haben theils noch eine beträchtliche Menge Wasserdampf, theils nehmen sie neuen auf, und bedingen hierdurch die starken Regen am Fuſse dieser Gebirge, ebenso wie die durch keine Gebirge aufgehaltenen, mit südlichen Winden vom adriatischen Meere herkommenden die groſse Regenmenge im östlichen Theile der Lombardei bedingen. Hier finden also die nämlichen Ursachen statt als diejenigen, welche bewirken, daſs auf der flachen Südküste Frankreichs die Regenmengen gering, an der westlichen Seite der Alpen dagegen groſs und an ihrem nördlichen Abhange wieder gering sind. Von Genua und Florenz an bis zur südlichen Spitze Italiens und in Sicilien giebt es wenig Regen, weil die Luft von den trocknen africanischen Ebenen dorthin strömt, eine Hypothese, welcher ich um so mehr Beifall gebe, als sie durch das Vorherrschen des Sirocco-Winds in jenen Gegenden unterstützt wird. In Beziehung auf die Jahreszeiten ist die Regenmenge im nördlichen Italien in der letzten Hälfte des Jahrs am stärksten, jedoch ohne einen auffallenden Unterschied der verschiedenen Jahreszeiten; in Mittel- und Unteritalien hat aber der Herbst und der Winter das Uebergewicht. In Bologna unter andern erreicht der Sommerregen nicht die Hälfte des Herbstregens und bleibt unter der Menge des Winterregens, und in Pisa regnet es viermal mehr im Herbst und zweimal mehr im Winter, als im Sommer.

Hiermit sehr genau übereinstimmende Resultate ergeben sich aus den nachfolgenden tabellarischen Uebersichten, die ich dem mehrgenannten Werke von Kämtz entlehne[1].

---

1 Meteorologie Th. I. S. 476 ff. Die daselbst näher bezeichneten Quellen sind Toaldo in den mannheimer Ephemeriden für Florenz, Genua, Bologna, Chioja, Rovigo, Trient, Vicenza, Marostica,

Monat.	Palermo		Rom		Siena		Florenz	
	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.
Januar	2	10,0	2	7,1	1	8,0	1	10,6
Februar	2	2,6	2	7,0	1	5,7	3	8,2
März	2	11,8	2	10,7	3	1,0	3	10,2
April	1	3,4	2	3,5	2	2,1	2	6,8
Mai	0	9,5	2	1,4	3	1,5	1	8,5
Juni	0	5,7	1	5,0	2	6,0	1	3,2
Juli	0	2,6	0	5,1	2	2,1	2	2,3
August	0	5,4	1	0,1	1	2,0	1	6,4
September	2	0,6	1	8,9	3	9,7	3	3,8
October	2	3,4	4	2,3	3	8,4	5	1,4
November	2	1,4	4	1,5	4	0,0	3	4,8
December	3	1,1	3	11,1	3	2,1	8	3,3
Jahr	20	9,5	29	3,7	32	0,6	38	9,5
Winter	39,1		31,0		19,7		35,7	
Frühling	24,3		24,9		26,2		20,9	
Sommer	5,5		9,7		18,2		12,9	
Herbst	31,1		34,3		36,9		30,5	

Monat.	Genua		Bologna		Chioja		Rovigo	
	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.
Januar	3	3,6	3	3,4	2	10,6	4	0,6
Februar	2	6,8	3	1,4	2	0,0	2	3,3
März	8	0,8	3	3,3	2	0,6	3	3,1
April	2	7,6	1	7,4	1	7,6	2	3,2
Mai	2	0,3	0	4,7	2	9,7	2	11,0
Juni	0	4,4	0	7,8	3	2,3	1	10,0
Juli	0	8,7	0	3,8	1	10,3	1	0,8
August	2	11,9	1	2,4	1	0,2	1	5,5
September	4	11,0	2	11,5	6	0,0	3	10,0
October	7	2,4	4	0,4	4	2,4	3	11,1
November	3	5,0	4	7,0	1	4,4	0	8,4
December	6	2,7	3	8,3	1	8,8	3	2,9
Jahr	44	5,2	29	1,4	30	8,9	30	9,9
Winter	27,2		34,7		21,5		31,0	
Frühling	28,6		18,1		21,1		27,4	
Sommer	9,2		7,4		19,4		14,3	
Herbst	35,0		39,8		38,0		27,3	

Udine, Conegliano, Tolmezzo, Brescia, Bergamo und Salo; für Padua im Journ. de Ph. T. X.; Calandrelli in G. XXIV. 239. für Rom; Cotte in Mém. T. II. für Siena und Mantua; Scina in Balbi Essay stat. sur Portugal T. I. p. 119. für Palermo; Cagnoli in Mem. della Soc. Ital. für Verona; Cesaris ebend. T. XVIII. für Mailand; Bonin in Mém. de Turin pour 1805 — 1808 für Turin und Gasparin in Bibl. un. a. a. O. für St. Bernhard.

Monat.	Vicenza Z.	Vicenza L.	Padua Z.	Padua L.	Verona Z.	Verona L.	Marostica Z.	Marostica L.	Trient Z.	Trient L.
Januar	3	7,3	2	2,2	2	7,5	1	10,8	0	5,8
Februar	2	6,9	1	9,6	1	5,1	1	10,9	1	8,5
März	4	4,8	2	5,8	2	5,6	4	5,4	5	2,1
April	2	8,3	3	3,3	2	9,7	3	0,2	3	10,9
Mai	2	11,3	3	4,5	3	6,2	3	9,6	1	5,6
Juni	3	6,1	3	5,7	2	11,8	6	3,8	3	0,7
Juli	1	11,9	2	8,0	3	4,4	2	0,4	0	7,3
August	2	10,4	2	8,4	2	8,3	4	8,3	2	6,6
September	6	1,6	3	1,0	2	9,8	4	5,8	2	7,9
October	5	5,3	4	1,3	4	9,1	4	3,8	3	2,5
November	1	2,8	2	9,6	2	9,8	0	11,3	5	2,6
December	3	8,0	2	7,2	4	3,4	3	0,2	3	3,7
Jahr	41	0,7	34	6,6	34	6,7	40	10,5	33	4,2
Winter	24,0		19,0		18,3		16,7		16,5	
Frühling	24,4		26,4		25,4		27,6		31,6	
Sommer	20,4		25,6		26,1		31,9		18,7	
Herbst	31,2		29,0		30,2		23,8		33,2	

Monat	Udine Z.	Udine L.	Conegliano Z.	Conegliano L.	Tolmezzo Z.	Tolmezzo L.	Mantua Z.	Mantua L.	Mailand Z.	Mailand L.
Januar	3	10,7	2	7,9	4	0,2	2	3,0	2	8,1
Februar	5	2,2	2	4,6	3	11,1	1	7,0	1	10,9
März	7	1,2	6	9,7	13	9,0	2	2,0	2	2,0
April	4	11,2	2	7,6	4	5,6	2	7,0	2	10,8
Mai	3	11,0	3	4,8	4	5,9	3	1,0	3	6,1
Juni	7	10,1	6	1,2	8	3,3	1	7,0	3	0,1
Juli	3	8,8	2	4,2	3	10,0	2	6,0	2	7,7
August	4	0,9	3	10,5	4	9,3	2	7,0	2	9,8
Sept.	4	7,5	4	5,9	4	11,1	2	2,0	3	0,0
October	8	4,4	5	10,7	7	4,5	2	6,0	3	10,6
Nov.	1	11,8	0	10,3	1	2,4	3	3,0	4	1,3
Dec.	3	11,0	2	9,6	9	0,1	2	5,0	2	10,7
Jahr	59	6,8	44	3,0	70	0,5	28	8,0	35	6,1
Winter	21,8		17,9		24,2		21,8		21,1	
Frühling	26,8		29,0		32,4		27,3		24,1	
Sommer	26,2		28,0		24,1		23,0		23,9	
Herbst	25,2		25,1		19,3		27,9		30,9	

Digitized by Google

Monat.	Turin		Brescia		Bergamo		Salo		St. Bernhard	
	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L	Z.	L.
Jan.	2	5,0	1	9,5	1	11,0	1	2,5	4	7,7
Febr.	0	9,6	2	1,0	1	8,8	1	2,5	6	11,7
März	2	1,1	4	2,0	3	10,6	4	10,6	5	8,0
April	4	3,2	2	0,5	1	8,8	1	11,6	4	4,4
Mai	4	1,1	3	7,5	4	7,1	4	4,7	2	11,5
Juni	4	4,1	3	6,0	3	8,9	3	2,7	3	6,6
Juli	3	5,1	2	5,5	2	10,8	1	1,6	5	2,5
August	2	7,3	5	5,0	7	11,0	5	6,2	5	6,8
Septemb.	2	6,4	4	10,0	4	4,8	7	11,0	4	3,4
October	3	4,0	5	4,5	5	4,2	3	4,8	3	3,7
Novemb.	2	11,8	0	9,3	1	7,5	0	9,9	3	4,2
Decemb.	1	11,6	4	11,5	3	9,5	3	8,7	4	11,5
Jahr	24	10,3	41	0,3	43	7,0	39	4,8	54	10,0
Winter	14,9		21,5		17,1		15,6		30,2	
Frühling	30,0		24,0		23,4		28,5		23,7	
Sommer	29,9		27,7		33,4		25,1		26,1	
Herbst	25,2		26,8		26,1		30,8		20,0	

Inwiefern die nach den Jahreszeiten verschiedenen Regenmengen einem allgemeinen Gesetze folgen, zugleich aber durch eine Menge örtlicher Einflüsse bedingt werden, ergiebt sich aus der Uebersicht dieser Zusammenstellungen evident. In Beziehung auf einzelne Abweichungen bemerkt Kämtz sehr richtig, daſs die Beobachtungen nicht unbedingtes Vertrauen verdienen, hauptsächlich aber wird nicht selten das eigentliche Gesetz durch zufällige ungewöhnlich starke Regen, die als Ausnahmen in jeder Jahreszeit statt finden können, um so mehr verändert, je kürzer die Zeit der Beobachtungen ist. Unter andern fiel zu Verona im April 1788 nur 6,1 L. Wasser, in dem nämlichen Monate 1814 aber 12 Z. 7 L. und zu Mailand im Februar 1824 nicht weniger als 7 Z., im folgenden Jahre aber kein Tropfen. Der Einfluſs einer einzigen solchen Ausnahme kann erst durch eine lange Reihe von Jahren ausgeglichen werden, aber solche vollständige Beobachtungen stehn nur selten zu Gebote, weswegen auch die arithmetischen Mittel aus einer kürzern oder längern Reihe von Jahren, da wo sie verglichen werden können, nicht unbedeutende Verschiedenheiten zeigen.

Für die auſser-europäischen Länder fehlen uns fast durchaus alle zu einer solchen Untersuchung erforderliche Beobach-

tungen, die ohnehin an Wichtigkeit verliert, wenn sie sich nicht über einen etwas bedeutenden Flächenraum erstreckt, so daſs eine Zusammenstellung der Regenmengen mit den eigenthümlichen örtlichen Verschiedenheiten zur Auffindung allgemeiner Gesetze führt. Bloſs aus Nordamerica besitzen wir von fünf Orten Aufzeichnungen, die jedoch bei zweien nicht mehr als zwei Jahre umfassen, nämlich von Cambridge[1] und Morietta[2], dann von Westchester[3] und Knutsford[4] zehnjährige und von Charlestown[5] funfzehnjährige. Aus ihnen erhält man folgende tabellarische Zusammenstellung:

Monat.	Cambridge.		Westchester		Charlestown		Marietta		Knutsford
	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.	Z.	L.	Zoll.
Januar	3	7,9	2	7,5	2	2,2	1	10,9	1,685
Februar	3	1,1	3	3,2	3	4,4	4	8,5	1,993
März	2	10,2	3	10,0	2	9,6	4	4,5	2,667
April	3	1,9	3	2,0	1	7,4	3	8,6	1,967
Mai	4	10,2	4	3,3	3	5,1	2	4,1	2,119
Juni	1	9,2	4	1,5	4	7,5	4	3,2	2,572
Juli	2	1,2	4	1,8	5	1,7	4	6,7	3,253
August	1	11,4	4	2,4	7	1,4	2	3,0	2,956
Sept.	3	11,7	3	10,3	5	11,4	1	1,5	2,408
October	3	3,1	3	6,0	2	10,3	3	0,6	2,930
Novemb.	1	7,5	3	4,7	2	1,1	1	6,0	3,006
Decemb.	4	2,8	3	7,4	3	9,6	5	3,0	3,036
Jahr	36	6,2	44	0,1	44	11,7	39	0,6	30,592
Winter	30,1		21,6		20,8		30,4		21,94
Frühling	29,7		25,6		17,4		26,8		22,08
Sommer	16,0		28,4		37,5		28,4		28,70
Herbst	24,2		24,4		24,2		14,4		27,27

Es lieſsen sich hieran allerdings einige Betrachtungen über den Einfluſs knüpfen, welchen die örtlichen Bedingungen auf die Regenmengen überhaupt und hauptsächlich in den verschiedenen Jahrszeiten ausüben, allein theils sind der Beobachtungsorte zu wenige, theils ist ein zweijähriger Zeitraum

1 Williams in den mannheimer Ephemer.

2 Hildreth in Sillimann's Amer. Journ. XIV. 63.

3 Darlington ebend. p. 29.

4 Von Stanley in Edinb. Phil. Journ. N. XXIV. p. 300. Vergl. XII. p. 332.

5 Lining in Phil. Trans. 1753. p. 284.

viel zu kurz, als daſs es möglich seyn sollte, allgemeine Schlüsse mit Sicherheit darauf zu gründen, endlich aber liegen die hier genannten Orte für den beabsichtigten Zweck einander zu nahe, und aus den übrigen Ländern der beiden americanischen Haupttheile sind mir keine Beobachtungen bekannt, auſser von den vier Orten, die auf der nachfolgenden Tabelle zusammengestellt sind, denen ich noch Funchal auf Madeira hinzufüge. Der Ueberblick der Regenmengen an diesen Orten, die sich an die eben genannten anschlieſsen, in groſsen Entfernungen von einander und unter verschiedenen Breiten liegen, gewährt an sich und rücksichtlich ihrer Vertheilung auf die verschiedenen Jahreszeiten vieles Interesse.

Monat.	Philadelphia[1]	Missisippi[2]	Cuba[3]	Cayenne[4]	Funchal[5]
	Zoll.	Zoll.	Zoll.	Zoll.	Zoll.
Januar	2,664	1,219	4,50	16,462	3,470
Februar	3,480	8,562	3,00	10,933	2,130
März	2,871	3,602	3,50	12,269	0,840
April	4,775	2,786	2,14	12,700	2,770
Mai	2,890	0,750	9,50	19,350	1,070
Juni	1,491	2,663	23,50	13,185	0,185
Juli	5,170	1,973	5,50	4,259	0,050
August	2,804	3,621	6,50	1,812	0,500
September	3,698	4,554	10,75	0,750	0,770
October	1,185	1,687	10,50	0,851	1,620
November	3,706	0,516	4,75	3,246	4,755
December	4,503	5,422	1,71	14,051	0,260
Jahr	39,237	37,355	85,85	109,87	18,420
Winter	27,134	40,698	10,72	37,65	31,81
Frühling	26,851	19,108	17,64	40,35	25,40
Sommer	24,122	22,104	41,36	17,56	3,99
Herbst	21,893	18,089	30,28	4,43	38,79

1 Vierjährige Beobachtungen von 1800 bis 1803 von Andrew Ellicot in Amer. Phil. Trans. VI. 28.

2 Einjährige Beobachtungen von ebendemselben im Jahre 1829. Ebend. p. 23.

3 Ramon de la Sagra in Annales de Ciencias. Habana 1828. Nov. in Bibl. univ. XLI. 33.

4 Mentelle aus vierjährigen Beobachtungen in Mém. de l'Inst. Etr. I. p. 173.

5 Zweijährige Beobachtungen von Heineken in Edinb. Journ. of Sc. N. XIX. 73. New Ser. N. I. p. 34.

Digitized by Google

Kämtz hat noch eine Untersuchung hinzugefügt, welche auf eine ähnliche Weise geeignet ist, den Einfluſs der Jahreszeiten auf die Regenmengen aufzuhellen, nämlich die nach den Monaten geordnete Zusammenstellung der Regentage; allein ich gestehe offen, daſs ich in die pünctliche Genauigkeit der hierüber vorhandenen Register nur wenig Vertrauen setze. Mir sind nämlich Beobachter bekannt, deren Gewissenhaftigkeit in der Aufzeichnung der Wetterbeobachtungen nichts zu wünschen übrig läſst, dennoch aber berechtigt eine genaue Prüfung ihrer Register zu der Vermuthung, daſs gerade die Aufzeichnung der Regentage auf die erforderliche Pünctlichkeit die geringsten Ansprüche machen darf. Inzwischen ist dieses auch sehr natürlich und soll diese Bemerkung keineswegs als ein Vorwurf gelten. Der Inhalt eines Regenmaſses läſst sich ohne eigentliche Mühe ermitteln, und nicht leicht wird irgend ein fleiſsiger Beobachter versäumen, diese Messung mindestens am Ende eines jeden Monats oder nach einem sowohl ungewöhnlich starken als auch anhaltenden Regen vorzunehmen, die übrigen Beobachtungen sind in der Regel an gewisse Zeiten gebunden, und werden meistens nur einige Mal am Tage aufgezeichnet, woran man sich bald gewöhnt; die Regen aber kommen regellos dazwischen und es unterbleibt daher leicht die Aufzeichnung derselben. Hierzu kommt, daſs die Thatsache, ob es geregnet habe, unbestimmter ist, als man gewöhnlich meint, allein man wird dieses einsehn, sobald man berücksichtigt, wie oft nur einzelne Tropfen fallen und daſs nicht selten der Unterschied zwischen dicken Nebeln und eigentlichem Regen schwer bestimmbar ist. Soll daher die Menge der Regentage zur Bestimmung örtlicher und sonstiger aus den verschiednen Jahreszeiten entstehender Einflüsse benutzt werden, so stehn die hierdurch zu erhaltenden Resultate denen weit nach, die sich aus den Regenmengen ergeben. Aus diesem Grunde überhebe ich mich einer ähnlichen Zusammenstellung der Regentage, als die eben mitgetheilte der Regenmengen ist, und verweise diejenigen, die auch in diesem Stücke Belehrung suchen, auf dasjenige, was Kämtz hierin geleistet hat. Wichtig ist indeſs die Bemerkung, daſs man keineswegs für verschiedene Orte die Menge der Regentage und die Quantität des gefallnen Regenwassers einander direct proportional annehmen darf.

Digitized by Google

Für solche Orte, die unter gleichen oder nahe gleichen Parallelen liegen, ist zwar das Verhältniſs beider einander ziemlich gleich, bei der Zusammenstellung von Gegenden unter ungleichen geographischen Breiten aber ist dasselbe sehr verschieden, indem man ziemlich allgemein annehmen kann, daſs mit der Abnahme der Polhöhen die Regenmengen wachsen, die Tage des Regnens aber vermindert werden. An den nämlichen Orten ist ferner im Ganzen zwar meistens die gröſsere Regenmenge einzelner Jahre mit der gröſsern Zahl der Regentage verbunden, denn unter andern erhielt Flaugergues[1] zu Viviers während 30 Jahren 1801 die gröſste Regenmenge von 48 Z. 1 L. und 1779 die geringste von 20 Z. 7,6 L., erstere mit 141, letztere mit 69 Regentagen, allein in Paris betrug die Regenmenge in dem heiſsen Jahre 1811 nicht weniger als 21 Z. 9 L., in dem kalten 1816 dagegen nur 20 Z. 2 L., aber ersteres hatte 143 Regentage, letzteres dagegen 167, wovon 16 in den Monat Juli fielen[2].

h) Veränderlichkeit der Regenmengen aus verschiedenen, zum Theil unbekannten, Ursachen.

Die Wechsel der Quecksilberhöhen im Barometer, die Veränderungen der Temperaturen und die hydrometeorischen Niederschläge sind die Hauptstücke, welche zu den meteorologischen Beobachtungen gehören; allein wenn die beiden erstern aller Schwankungen und Wechsel ungeachtet dennoch im Kreislaufe eines jeden Jahrs auf eine bleibende und nur geringe Verschiedenheiten zeigende mittlere Gröſse zurückkommen, so weichen dagegen die jährlichen Regenmengen so bedeutend von einander ab, daſs die Unterschiede jener mit diesen gar nicht vergleichbar sind. Beweise hierfür findet man schon beim flüchtigen Ueberblicke mehrjähriger meteorologischer Register in solcher Menge, daſs es sich kaum der Mühe lohnt, einzelne als Beispiele herauszuheben. Um dasjenige zu wählen, was mir am nächsten liegt, stelle ich bloſs die während 14 Jahren von mir selbst beobachteten Regenmengen in pariser Zollen neben einander.

1 Journ. de Phys. LXXXI. 104.
2 Journ. de Phys. 1816. Dec.

Digitized by Google

1819	1820	1821	1822	1823	1824	1825
26,85	20,55	26,70	15,40	27,47	33,64	26,88
1826	1827	1828	1829	1830	1831	1832
20,61	24,77	24,41	27,80	22,68	29,82	18,73.

Hierin verhält sich das Minimum zum Maximum wie 1 zu 1,796..., und da die Jahre, aus denen diese Resultate genommen sind, nicht absichtlich aus einer langen Reihe herausgehoben wurden, der hiesige Ort auſserdem keine Eigenthümlichkeiten darbietet, denen man so groſse Unregelmäſsigkeiten als specielle Ausnahmen beimessen könnte, so muſs man solche bedeutende Unterschiede als allgemein statt findend betrachten und findet diese Hypothese dann sofort auch an andern Orten bestätigt, wie folgende aus den verschiedensten Gegenden der Erde entnommene Beispiele unwidersprechlich darthun. Zu Paris gaben die Messungen von 1702 bis 1760 im Mittel 16 Z. 10 L., von 1779 bis 1785 im Mittel 18 Z. 9 L. von 1809 bis 1815 im Mittel 17 Z. 11 Lin.[1], nach Gasparin[2] aus 63jährigen Beobachtungen 20 Z. 9,8 L. Für Petersburg giebt Cotte[3] 15 Z. an, nach einer andern Angabe[4] beträgt sie gar nur 12,8 Z., nach Kämtz[5] aber im Mittel aus mehrjährigen Messungen 17 Z. 1,2 L. Nach Mentelle[6] fielen auf Cayenne in den Jahren 1789, 1790, 1791, 1792 und 1793 die ungleichen Regenmengen 97 Z. 9,5 L., 103 Z. 10,6 L., 115 Z. 11,1 L., 85 Z. 4,7 L., 111 Z. 9,8 L.; zu Bombay[7] in folgenden Jahren:

1803,	1804,	1817,	1818,	1819,	1820,	1921,
85 Z.	106 Z.	97 Z.	72 Z.	72 Z.	72,57 Z.	77,86 Z.
1822,	1823,	1824,	1825,	1826,	1827,	1828,
105,65 Z.	57,84 Z.	31,21 Z.	67,77 Z.	73,05 Z.	76,02 Z.	113,60 Z.

im Mittel also 79 Zoll, mit den auſserordentlichen Extremen

1 Journ. de Phys. 1816. Dec.

2 Bibl. univ. T. XXXVIII.

3 Mém. Th. II. p. 508. Vergl. d'Aubuisson Traité de Geog. T. I. p. 53.

4 North Amer. Review. Boston 1821. T. XXXII. p. 56.

5 Meteorol. T. I. S. 464.

6 Mém. de l'Inst. Etrang. T. I. p. 173.

7 Phil. Mag. 1829. Jan. Ann. Ch. Ph. XXVII. 404. XLII. 366.

von 31,21 und 113,6 Zoll. Zu Beikullo[1] betrugen die Regenmengen

1817,	1818,	1819,	1820
104 Z.	81,15 Z.	78,74 Z.	77,34 Z.

Auch zu Philadelphia[2] betrugen die jährlichen Regenmengen in den Jahren 1800, 1801, 1802 und 1803 die sehr ungleichen Gröſsen 31,09; 45,50; 57,92 und 37,56 engl. Zoll, in einzelnen Monaten aber fielen unter andern im Januar 1800 nur 1,32 Z., 1802 aber 5,23 Z., im August des erstern Jahres 0,35, des andern 6,32, im November 1830 nur 0,03, aber 1803 dagegen 5,41 engl. Zoll. Zu West-Chester in Pensilvanien wechselten die Regenmengen während 5 Jahren zwischen den Extremen von 40,5 und 54,1 engl. Zoll, aber dennoch giebt das Mittel aus 5 Jahren bis 1827 47,46 engl. Zoll und aus 10 Jahren 46,92 engl. Zoll[3].

Wäre die Zahl der bekannten Beobachtungen hinreichend, so könnte man daraus die Beantwortung der interessanten Frage entnehmen, ob die Unterschiede der jährlichen Regenmengen an verschiedenen Orten der absoluten Gröſse der mittlern proportional sind oder nicht. Um einer Entscheidung hierüber näher zu kommen, können auſser den mitgetheilten Beispielen noch folgende dienen. Zu Genf[4] beträgt die mittlere jährliche Regenmenge nach 35 Jahren von 1796 an gerechnet 28 Z. 11,8 L., das Minimum aber fällt in das Jahr 1822 mit 15 Z. 1,83 L. und das Maximum in 1799 mit 44 Z. 9,8 Lin. Auf dem St. Bernhard beträgt nach 10jährigen Beobachtungen das Mittel 59 Z. 2,73 Lin. mit einem gleichfalls in das Jahr 1822 fallenden Minimum von 36 Z. 6,54 L. und einem in 1818 fallenden Maximum von 78 Z. 11,1 Lin. Zu Joyeuse[5], wo nach Beobachtungen von 1805 bis 1827 die mittlere Regenmenge 47,6 Z. beträgt, war das Minimum im Jahre 1825 nicht höher als 32 Z. 11,9 L., das Maximum 1827 dagegen 81 Zoll 2 Lin. Zu New-Bedford[6] gaben die beiden einander folgen-

1 Asiatic Journal. 1821. Jul. p. 60.
2 Andrew Ellicot in Amer. Phil. Trans. T. VI. p. 28.
3 Silliman Amer. Journ. XIV. p. 29.
4 Bibl. univ. T. XXXVII. desgl. LII. p. 1.
5 Ann. Ch. et Phys. XLII. 366.
6 Silliman Amer. Journ. XVI. 46.

den Jahre 1827 und 1828 die sehr ungleichen Mengen 55,91 und 36 engl. Zoll, zu Cayenne aber die vier einander folgenden Jahre 1789, 1790, 1791 und 1792 die sehr verschiedenen Höhen von 103 Z. 10,6 L., 115 Z. 11,1 Lin., 85 Z. 4,7 Lin. und 111 Z. 9,8 Lin. pariser Maſs; auch waren die einzelnen Monate der verschiedenen Jahre einander so ungleich, daſs unter andern der Februar 1789 nur 2 Z. 0,6 Lin., der von 1790 aber 22 Z. 7,4 L. und der April 1790 nur 3 Z. 4,7 Lin., der von 1791 aber 23 Z. 7,1 Lin. gab[1].

Es lieſsen sich der Thatsachen dieser Art noch leicht eine bedeutende Menge aus den oben mitgetheilten Angaben zusammenstellen, allein im Ganzen scheinen mir die vorhandenen Beobachtungen zur definitiven Entscheidung der aufgeworfenen Frage nicht genügend, weil uns namentlich eine hinlängliche Anzahl längere Zeit hindurch anhaltend fortgesetzter Messungen der übergroſsen Regenmengen tropischer Gegenden fehlt. Eine Zusammenstellung der Resultate von den wenigen genannten Orten giebt das Verhältniſs des Minimums zum Maximum für Heidelberg fast 1 zu 1,80, für Genf fast 1 zu 3, für den St. Bernhard 1 zu 2,16, für Joyeuse fast 1 zu 2,5, für Cayenne etwas mehr als 1 zu 1,3. Im Allgemeinen möchte ich daher schlieſsen, daſs das Verhältniſs der Unterschiede keineswegs der absoluten Gröſse der Regenmengen proportional, vielmehr an denjenigen Orten am gröſsten ist, wo eigenthümliche örtliche Bedingungen vom bedeutendsten Einflusse sind.

Bei der hieraus erwachsenden Unsicherheit in den Bestimmungen der Regenmengen wage ich nicht, eine andere oft aufgeworfene Frage auch nur annähernd zu beantworten, nämlich wie groſs die Regenmenge über der ganzen Erde seyn möge. Bergmann[2] nimmt für Europa 15 bis 20 Zoll und hiernach über der ganzen Erde im Mittel 30 Zoll an, und somit betrüge die Gesammtmenge des jährlich herabfallenden Regenwassers 1016 geogr. Kubikmeilen. D'Aubuisson[3] rechnet für das Cap der Insel Domingo 113 Zoll, für Calcutta

1 Mentelle in Mém. de l'Inst. Étr. T. I. p. 173.

2 Physical. Beschreib. d. Erdkugel. Greifswalde 1780. Th. II. §. 115.

3 Traité de Geognos. T. I. p. 53.

Digitized by Google

111 Z., für Rom 37 Z., für Toulouse 25 Z., für Paris 21 Z., für London 17 Z. und für Petersburg 15 Zoll als Normalbestimmungen für die verschiedenen Breiten, woraus im Mittel 35 Zoll über die ganze Erdoberfläche folgen würde. Die Frage, deren Entscheidung hauptsächlich zur Bestimmung des Ursprungs der Quellen dienen sollte, hat gegenwärtig ihr Interesse gröſstentheils verloren, da diese Aufgabe als entschieden zu betrachten ist, und auſserdem geht aus den mitgetheilten Bestimmungen genügend hervor, daſs sich die Regenmengen durchaus unter keine auf die Unterschiede der geographischen Breite gestützte Regel bringen lassen.

Noch ungleich auffallender als diese Regellosigkeit und ein sprechendes Beispiel abgebend, wie sehr man gerade in Gegenständen der Meteorologie voreilige, auf einseitige Thatsachen gegründete Schlüsse vermeiden müsse, sind die Resultate, welche Arago[1] aufgefunden hat, nämlich daſs an einigen Orten eine periodische Zunahme, an andern aber eine gleichfalls periodische Abnahme der Regenmengen aus den Messungen zu folgen scheint, die jedoch nach einem längern Zeitraume wieder wegfällt und sich also als unstatthaft zeigt. So fand in Paris von 1719 bis 1785, der Länge dieses Zeitraums ungeachtet, eine Zunahme der Regenmengen statt, die sich aber später wieder ausglich, so daſs man sie von 1689 bis 1824 als im Ganzen gleichbleibend betrachten kann. Auf gleiche Weise beobachtete Flaugergues zu Viviers in einer langen Periode folgende Zunahme:

1778	bis	1787	Regenmaſs	31,1	Z.	in	83	Regentagen
1788	-	1797	—	33,2	Z.	-	94	—
1798	-	1807	—	34,2	Z.	-	106	—
1808	-	1817	—	37,4	Z.	-	108	—

Dieses periodische Wachsen ist um so auffallender, da die Verminderung der Wälder gerade das Gegentheil erwarten lieſs. Dagegen ergiebt die Vergleichung der zu Marseille angestellten Beobachtungen gerade das Gegentheil. Hier erhielt man nämlich:

1772	bis	1782	Regenmaſs	21,8	Z.	in	57	Tagen
1795	-	1805	—	19,5	Z.	-	54	—
1806	-	1815	—	14,1	Z.	-	55	—
1816	-	1820	—	13,7	Z.	-	55	—

1 Ann. Chim. et Phys. XXVII. 400.

Digitized by Google

Des langen Zeitraums ungeachtet sind diese Abnahmen zu groſs, als daſs man sie für etwas Bleibendes und nicht vielmehr für eine vorübergehende, demnächst wieder rückkehrende Anomalie halten sollte, indem sonst die Regen dort bald ganz aufhören würden. Das merkwürdigste Beispiel dieser Art aber, was es giebt, liefern die anhaltenden Beobachtungen auf der Sternwarte zu Mailand[1], und da sie zugleich unter die genausten gehören, welche die Meteorologie aufzuweisen hat, so setze ich sie insgesammt her, um zugleich eine Uebersicht der stattfindenden Variationen zu geben.

Jahre	Regenmenge		Jahre	Regenmenge		Jahre	Regenmenge	
	Z.	L.		Z.	L.		Z.	L.
1764	34	7,32	1786	39	8,66	1808	27	1,12
1765	47	6,13	1787	32	9,71	1809	37	6,63
1766	32	2,12	1788	40	7,00	1810	49	7,97
1767	33	11,60	1789	27	10,43	1811	33	5,33
1768	33	0,41	1790	28	2,23	1812	39	5,13
1769	33	2,75	1791	39	11,76	1813	43	10,51
1770	30	9,40	1792	29	11,95	1814	58	11,58
1771	25	11,52	1793	39	11,65	1815	36	5,54
1772	40	5,76	1794	33	9,57	1816	32	11,67
1773	35	6,03	1795	40	6,85	1817	24	8,48
1774	28	8,95	1796	38	5,64	1818	35	8,45
1775	26	9,94	1797	39	3,37	1819	40	3,23
1776	33	2,95	1798	35	10,74	1820	35	4,94
1777	38	6,89	1799	34	4,63	1821	42	3,72
1778	30	5,06	1800	32	0,01	1822	32	5,19
1779	29	1,05	1801	44	2,32	1823	39	9,85
1780	32	4,70	1802	31	10,28	1824	36	3,76
1781	34	4,10	1803	29	3,00	1825	30	5,76
1782	28	0,17	1804	41	8,30	1826	47	6,63
1783	38	0,65	1805	30	11,02	1827	41	1,64
1784	33	7,32	1806	41	9,10	1828	25	8,22
1785	33	9,83	1807	36	4,16			

Schon Chiminello[2] stellte die Behauptung auf, die Regenmenge sey am südlichen Abhange der Alpen zunehmend im Wachsen. Ungleich wichtiger aber schien diese nämliche Behauptung, als Cesaris[3] sie auf die lange Reihe der mit-

1 Biblioteca Italiana. 1828. Dec. Daraus in Wiener Zeitschrift VI. 244.

2 Memorie dell' Accademia di Siena T. VI.

3 Memorie della Società Italiana T. XVIII. Hft. 1.

getheilten Beobachtungen auf der Sternwarte zu Mailand gründete, die er von 1764 bis 1817 in zwei Hälften, jede von 27 Jahren, theilte und aus der ersten im Mittel 33 Z. 6 Lin., aus der zweiten 37 Z. 2 L. erhielt. Hiergegen machte jedoch Arago[1] den gegründeten Einwurf, daſs der Zeitraum immer noch nicht lang genug sey, indem sich auch für Paris eine ähnliche Zunahme gezeigt habe, die aber später wieder ausgeglichen worden sey. Auſserdem lägen die Maxima und Minima der jährliehen Regenmengen in jener erstern Hälfte zwischen 26 Z. und 47,5 Z., in der zweiten aber zwischen 24,7 Z. und 58,9 Z. Inzwischen hat später Giuseppe Castellani[2] aus den mitgetheilten Registern abermals die Folgerung einer wachsenden Regenmenge abgeleitet und findet die Ursache der Zunahme in den häufigen Ueberschwemmungen, den dadurch erzeugten Bergstürzen und in der zunehmenden Verödung der Waldstrecken.

Im Ganzen fällt in der Tabelle die gröſste Regenmenge von beinahe 59 Zoll in das Jahr 1814, die geringste aber von weniger als 24,7 Z. in das Jahr 1817, also in eins der letzten, und der Unterschied beider beträgt demnach mehr als die letztere ganz. Um aber zu versuchen, ob die Beobachtungen während der ganzen Reihe von 65 Jahren der groſsen Schwankungen ungeachtet dennoch eine stete Zunahme geben, wird die Regenmenge p, welche einem n^{ten} von irgend einer Periode, z. B. 1800 an vorwärts oder rückwärts gezählten Jahre entspricht, $p = a + bn$ gesetzt, worin a eine beständige Gröſse und b einen Coefficienten, beide aus den Beobachtungen zu bestimmen, bezeichnen. Die Berechnung nach der Methode der kleinsten Quadrate giebt $p = 431{,}25 + n \,.\, 0{,}954$ Linien, also allerdings eine Zunahme, aber eine so geringe von nicht ganz einer Linie, so daſs einige folgende trockne Jahre, wie die 1829 und 1832 schon gewesen sind, die Differenz wieder auszugleichen vermögen. Immerhin aber bleibt eine solche periodische Schwankung, welche Toaldo bereits anzunehmen geneigt war, höchst merkwürdig.

Einen sehr schätzbaren Beitrag zu diesen interessanten Un-

1 Annuaire prés. au Roi. 1825. p. 154.

2 Observations sur le Révenu, que les Gouvernements peuvent tirer, en dirigeant le cours des eaux cet. Turin 1828.

Digitized by Google

tersuchungen hat Schouw[1] geliefert. Theilt man nämlich die ganze Periode der Messungen auf dem Observatorium in Kopenhagen von 1769 bis 1815 in vier Abtheilungen, so erhält man die jährlichen Regenmengen

von	1769	bis	1776	... 214,21	Linien
—	1782	—	1789	... 172,52	—
—	1790	—	1797	... 170,36	—
—	1798	—	1815	... 204,11	—

Macht man zwei gröſsere Abtheilungen, so ergiebt sich

von	1769	bis	1789	... 193,36	Linien
—	1790	—	1815	... 188,23	—

Hier findet also eine scheinbare Abnahme statt, und eben diese geht auch aus den Messungen an andern Orten in Europa hervor, wenn aus wieder andern das Gegentheil gefolgert werden könnte. So findet man für die verschiedenen Perioden

Lund	1.	Periode	29	Jahre	von	1753	bis	1781.	16,882	Z.
	2.	—	29	—	—	1782	—	1811.	19,020	-
Stockholm	1.	—	18	—	—	1785	—	1803.	19,532	-
	2.	—	18	—	—	1804	—	1821.	15,639	-
Åbo	1.	—	24	—	—	1750	—	1774.	20,858	-
	2.	—	24	—	—	1775	—	1800.	19,712	-
Wexiö	1.	—	11	—	—	1800	—	1811.	19,823	-
	2.	—	11	—	—	1812	—	1822.	22,269	-

Für London bestimmt Howard[2] nach den Messungen auf dem Observatorium der Royal Society:

von	1774	bis	1796	jährlich	19,762	engl. Zoll
—	1797	—	1806	—	19,355	— —

und wenn man die spätern Beobachtungen an einem tiefern Orte für die Höhe corrigirt, für eine dritte Periode von 1807 bis 1816 nur 19,054 Zoll, zwar wiederum etwas abnehmend, aber so wenig, daſs der Unterschied unbedeutend wird[3].

1 Skildring af Vierligets Tilstand i Danmark. Kiöbenhavn 1826. 8. Daraus in Hertha Th. X. S. 307.

2 Climate of London T. II. p. 184.

3 Auch für Petersburg lassen sich zwei Perioden auffinden, nämlich die ältere, welche Lexel's Beobachtungen von 1778 bis 1786 in Acta Soc. Pet. T. IV p. 17. begreift, und die neuere der beiden Jahre 1818 und 1819. Die erstere giebt 15,0, die letztere 14,9 englische Zoll.

Digitized by Google

Schouw weist auſserdem nach, daſs der Wasserstand der Seen in Dänemark gewisse periodische Schwankungen zeigt, und ist hiernach der Meinung, daſs letztere nur vorübergehend und im Ganzen die Regenmengen für eine lange Reihe von Jahren im Mittel stets gleichbleibend sind. Hierfür entscheiden insbesondere die pariser Messungen und bloſs die italienischen stehn noch zur Zeit als sehr bedeutend entgegen, obgleich auch dort eine demnächst erfolgende Ausgleichung zu erwarten steht.

Fragen wir nach den Ursachen dieser Anomalieen und ihrem Zusammenhange mit anderweitigen Naturerscheinungen, so dürfte es nach unsern gegenwärtigen Kenntnissen unmöglich scheinen dieselben anzugeben; denn eben hierauf beruht die bis jetzt bewährte Unzulässigkeit einer Vorausbestimmung der Witterung auf einen längern Zeitraum, weil man alle hierbei mitwirkende Bedingungen zusammenzufassen bisher auſser Stande war. Allerdings müssen zur Erzeugung gröſserer Regenmengen mehr mit Wasserdampf überladene Luftschichten herbeigeführt werden, allein es kostet schon so viele Mühe, nur mit einiger Wahrscheinlichkeit aufzufinden, woher diese in der Regel kommen, viel weniger also läſst sich ausmitteln, welche Strömungen in der Atmosphäre die ungewöhnlichen Erscheinungen übergroſser oder sehr geringer Regenmengen bedingen, und eine Vorausbestimmung ihres Eintreffens ist also ganz unmöglich. Das Einzige, was wir hierüber mit Gewiſsheit wissen, ist die aus vielen Erfahrungen entnommene Folgerung, daſs vorherrschende Trockenheit oder Nässe einzelner oder mehrerer einander folgender Jahre fast ohne Ausnahme nicht einzelnen Orten eigenthümlich, sondern über bedeutende Länderstrecken verbreitet zu seyn pflegen, während man in andern gleichzeitig die entgegengesetzte Disposition findet. Hieraus folgt offenbar, daſs abwechselnd verschiedenartige Luftströmungen vorherrschend sind, was auch schon aus dem Zusammenhange der Winde und der Regenmengen hervorgeht, und daſs solche Strömungen nicht bloſs lange anhaltend, sondern auch von sehr weiter Verbreitung sind, folglich mit den Fluthungen im unermeſslich groſsen Luftoceane in Verbindung stehn. Als Beispiele, die man nicht weit zu suchen hat, will ich nur anführen, daſs in den Jahren 1828 und 1829 in Italien und Dalmatien eine auſserordentliche Dürre

herrschte, während diesseit der Alpen die Regen ungewöhnlich häufig waren, und auf gleiche Weise hat noch im Jahre 1833 eine unerhörte Trockenheit einigen Districten Ruſslands den Ertrag der Felder geraubt, während in Ungarn und in den hiesigen Gegenden vorherrschender Regen die Güte des Weins verminderte.

Die hier aufgestellte Thatsache ist zwar ebenso allgemein als gewiſs, jedoch keineswegs genugsam für die Erweiterung der Meteorologie benutzt. Könnte man nämlich mehrere oder viele Jahre nach einander über der ganzen Erde oder einem bedeutenden Theile derselben diejenigen Gegenden, in denen Trockenheit oder Nässe vorherrschte, genau bezeichnen, und wäre man zugleich von dem Anfange und der Dauer dieser Dispositionen, von den gleichzeitig wehenden Winden und sonstig begleitenden Umständen unterrichtet, wüſste man ferner aus der Zusammenstellung der Resultate mehrerer Jahre, ob hierbei eine regelmäſsige Fortschreitung oder ein bloſs zufälliges Eintreffen statt findet, so lieſsen sich vielleicht hieraus wichtige Folgerungen über den Wechsel der Windrichtungen und der sie begleitenden Hydrometeore, desgleichen mindestens wahrscheinliche Gesetze der Luftströmungen im groſsen Luftoceane und den verschiedenen Zonen desselben auffinden. Es ist zu erwarten, daſs durch eine weitere Verbreitung der wissenschaftlichen Cultur künftig viele genaue und anhaltend fortgesetzte Beobachtungen aus den entlegensten Orten des gröſsten Theils der bewohnten Erde zu erhalten sind, deren Vereinigung zu jenen oder zu ähnlichen Resultaten führen könnte.

Aus den hier mitgetheilten Thatsachen folgt zugleich, daſs die nicht uninteressante und bei mehrern Veranlassungen vorkommende Frage, wie groſs die mittlere jährliche Regenmenge an den einzelnen Orten der Erde sey, sich keineswegs leicht, und nur für diejenigen Orte mit genügender Sicherheit beantworten lasse, von denen vieljährige Beobachtungen zur Benutzung vorliegen. Wer aber eine solche Zusammenstellung unternimmt, der fühlt sich oft in Verlegenheit, welche der verschiedenen Angaben er benutzen und was für ein Gewicht er den einzelnen bei ihrer bedeutenden Abweichung beilegen soll. Inzwischen glaube ich mich doch diesem Geschäfte unterziehn zu müssen, da unser Werk gerade über solche Fragen

Digitized by Google

die nöthige Auskunft geben soll, und theile daher in der nachfolgenden Tabelle eine Uebersicht mit, die mir alphabetisch geordnet am zweckmäſsigsten zu seyn scheint. Die bereits von andern hinlänglich bekannten Physikern aufgefundnen mittlern Regenmengen benutze ich mit Angabe dieser Autoritäten; von den sonstigen Orten habe ich aus verschiednen Bestimmungen diejenige mittlere Gröſse aufgenommen, die nach meiner Ansicht der Wahrheit am nächsten liegt; zugleich füge ich die geographische Breite, jedoch nur mit der erforderlichen genäherten Genauigkeit, hinzu, desgleichen die Höhe über der Meeresfläche und die Zahl der Regentage, beide nur da, wo sie bekannt sind.

Orte.	Polhöhe.	Höhe p. Fuſs.	Regenmenge p. Zoll.	Regentage.	Autoritäten.
Aberdeen .	57°,04	—	27,64	—	Innes[1].
Åbo . . .	60,50	—	24,14	146	Leche[2].
Alais . . .	44,12	431	38,18	68	Arago[3].
Algier . . .	36,81	—	25,8	—	Brisson[4]
Andex . .	48,15	2288	27,32	147	Kämtz[5].
Apenroe . .	55,05	38	21,07	179	Neuber[5b].
Arles . . .	43,67	—	22,30	107	Bret[6].
Augsburg .	48,39	1464	36,68	148	Starck[7].
Auxerre . .	47,75	266	23,20	—	Moreau de Jonnes[8].
Avignon . .	43,95	85	23,05		Guerin[9]
Bancoorah .	23,50	—	27,93		G. Macritchie[9b].
Barrowby .	53,80	—	23,74		Lloyd[10].
Bayeux . .	49,3	—	20,00		Moreau de Jonnes[8].

1 Edinb. New Phil. Journ. N. XXI. p. 158.

2 Schwed. Abh. XXIV. S. 314.

3 Ann. Ch. et Phys. VIII. 75.

4 Dict. rais. de Physique.

5 Meteorol. Aus mannheimer Ephem.

5b Collectanea meteorologica. Hafn. 1729.

6 Schübler Grundsätze der Meteorol. S. 132.

7 Cotte Mem. II. 204.

8 Ueber die Veränderungen, die durch Ausrottung d. Wälder u. s. w. entstehn. Tüb. 1818. S. 76.

9 Schouw specimen geographiae phys.

9b Edinb. New Phil. Journ. XXVIII. 230. Einjähr. Beobachungen.

10 Phil. Trans. 1782. p. 71.

Digitized by Google

Orte.	Polhöhe.	Höhe p.Fuſs.	Regenmenge p. Zoll.	Regentage.	Autoritäten.
Baykullo . .	19°,00	—	91,94	—	Ungenannter[11].
Bergamo . .	45,70	—	43,60	—	Mascheroni[12].
Bergen . .	60,70	—	77,60 83,16	— —	Schouw[13]. Kämtz[14].
Berlin . .	52,52	115	19,60	171	Moreau de Jonnes[8].
Bern . . .	46,95	1769	43,30	—	Gasparin[15].
Bernhard, St.	45.53	7668	59,23	107	Pictet[16].
Bezières . .	43,34	358	16,24	—	Bouillet u. Mairan[6].
Bologna . .	44,50	372	29,11	—	Gasparin[15].
Bombay . .	18,95	—	78,34 90,67	— —	Adie[17]. Arago[18].
Bordeaux .	44,83	—	24,3	150	Moreau de Jonnes[8].
Boston . .	42,42	—	22,32	—	Ungenannter[19].
Bourg en Bresse	46,20	—	43,33	—	Puvis[20].
Branxholm .	55,85	—	29,50	—	Gasparin[15].
Breda . . .	51,60	—	24,63	158	Hell[6].
Brescia . .	45,49	400	41,02	—	Rodella[12].
Breslau . .	51,15	400	23,9	—	Göppert[21].
Bridgewater	51,10	—	27,5	—	Dalton[22].
Bristol . .	51,46	—	21,89	—	Farr[6].
Brüssel . .	50,85	262	17,90	164	Gasparin[15].
Calcutta . .	22,57	—	111,00 71,25	— —	Cotte[23]. Trail u. Pearse[24].

11 Asiatic Journ. 1821. Jul. p. 60. u. Ann. of Phil. XXXII. p. 115.

12 Kämtz Meteorol. aus Toaldo.

13 Aus 10jähr. Beob. von Ahrentz in Danske Vidensk. Selsk. Skrifter. T. XI. und Bohr Mag. for Naturvidensk. 1823.

14 Meteorologie. Th. II. S. 465. Aus denselben und andern Quellen.

15 Bibl. univ. T. XXXVIII.

16 Ebend. XL. 11. u. LII. 1. aus 10jähr. Beobachtungen.

17 Edinb. Journ. of Sc. N. XIX. p. 141.

18 Ann. Chim. et Phys. XXVII. 406.

19 Phil. Mag. N. LXV. p. 237. 288.

20 Gasparin in Bibl. univ. T. XXXVIII.

21 Wärme-Entwickelung d. Pflanzen. S. 58.

22 Manchester Mem. T. V. p. 346. G. XV. 249.

23 D'Aubuisson Traité de Géog. I. 53.

24 Asiatic Res. I. 441. II. 421.

Digitized by Google

Orte.	Polhöhe.	Höhe p. Fuſs.	Regenmenge p. Zoll.	Regentage.	Autoritäten.
Cambray . .	50°,17	—	16,04	—	Trécourt[6].
Cambridge .	42,25	210	36,51	—	Kämtz[5].
Carbeth . .	56,00	—	39,09	—	Jameson[25].
Carlisle . .	54,95	—	24,31	209	Pitt[25b].
Carlsruhe .	48,99	380	25,55	174	Boeckmann[26].
Cayenne . .	4,93	—	109,87	—	Mentelle[27].
Charlestown	42,27	—	44,90	—	Lining[28].
Chattsworth	53,00	—	25,95	—	Kämtz[29].
Chioga . .	45,26	12	30,74	—	Vianelli[6].
Chur . . .	46,83	1872	32,10	115	Schübler[7].
Coblenz . .	50,35	—	20,84	—	Mohr[30].
Coimbra . .	40,25	281	111,54	—	Lacerda Lobo[31].
Conegliano .	45,78	—	44,25	—	Graziani[12].
Crawshaw-booth . .	53,75	—	56,29	—	Dalton[22].
Cuba . . .	21,30	—	85,85	—	Ramon de la Sagra[32].
Cumana . .	10,25	18	7,50	—	v. Humboldt[33].
Cuxhaven .	53,87	28	29,2	145	Schübler[7].
Delft . . .	52,15	—	26,10	—	Brisson[4].
Dijon . .	47,31	856	23,91	124	Maret[6].
Domingo . .	18,36	—	113,00	—	Cotte[23].
Dordrecht .	51,78	—	36,60	—	Brisson[4].
Dover . .	51,12	—	44,10	—	Gasparin[15].
Dumfries .	55,10	—	34,75	—	Copland[29].
Edinburg .	55,93	—	23,50	—	Adie[34].
Epping . .	51,70	—	25,21	—	Squire[35].
Erfurt . .	50,98	585	12,57	128	Gasparin[15].
Fell-Foot .	54,35	—	52,25	—	Dalton[22].
Florenz . .	43,77	255	38,80	—	Tartini[12].

25 Edinb. Phil. Journ. N. S. X. 395.
25b G. XXIX. 223.
26 Eisenlohr Carlsruher Witterungsverhältnisse.
27 Mém. de l'Inst. Étrang. I. 173.
28 Philos. Trans. 1753. p. 284.
29 Meteorologie. Nach Dalton.
30 Ebendas. aus Mspt.
31 Balbi Essay sur Portugal. I. 112.
32 7jähr. Beobachtungen in Annales de Ciencias. Habana 1828. Nov.
33 Reis. D. Ueb. V. 716.
34 Kämtz Meteorologie aus den Quellen zusammengetragen.
35 Philos. Mag. and Ann. N. S. I. 208.

Digitized by Google

Orte.	Polhöhe.	Höhe p. Fuſs.	Regenmenge p. Zoll.	Regentage.	Autoritäten.
Franecker .	53°,12	—	28,56	172	Van Swinden [36].
Freudenstadt	48,45	2175	57,10	—	Schübler [7].
Funchal . .	33,00	—	27,32	—	Heineken [37].
Fyfield . .	51,00	—	24,30	—	Dalton [22].
Garsdale . .	54,00	—	49,07	—	Dalton [22].
Genf . . .	46,25	1252	28,81	103	Senebier [38].
Genkingen .	48,42	2400	35,56	—	Schübler [7].
Genua . .	44,41	—	44,43	—	Kämtz [12].
Giengen . .	48,61	1440	25,60	143	Schübler [7].
Glasgow . .	55,85	—	20,10	—	Couper [39].
Gosport . .	50,83	—	27,89	—	Bourney [40].
Göttingen .	51,52	412	24,90	162	Gatterer [5].
Grenada . .	12,20	—	105,10	—	Cazand [6].
Guadaloupe	16,50	—	80,00	—	Moreau de Jonnes [8].
Haag . . .	52,07	—	26,60	—	Brisson [4].
Hackney-Wick . .	51,57	—	22,80	—	Beaufoy [41].
Hagenau . .	48,82	443	25,05	166	Keller [6].
Harderwyk	52,34	—	26,10	—	Brisson [4].
Harlem . .	52,37	—	23,20	—	Brisson [4].
Havanah . .	23,00	—	85,73	—	Ramon de la Sagra [42].
Heidelberg .	49,61	313	24,47	—	Muncke.
Joyeuse . .	44,46	600	47,91	97	Tardy de la Brossy [43].
Kandy . .	3,50	—	68,90	—	Tilloch [44].
Kendal . .	54,36	—	50,40	—	J. Dalton [28].
Keswick . .	54,51	—	63,32	—	Dalton [22].
Kimbolton .	52,40	—	23,45	—	Dalton [22].
Kinfouns .	56,89	—	23,17	148	Gray [45].
Knutsford .	43,00	—	30,60	—	Stanley [46].

36 L. v. Buch in G. XXV. 327.
37 Edinb. Journ. of Science N. XIX. 78.
38 Bibl. univ. 1818. Mars.
39 Ann. of Phil. XII. 376.
40 Ann. of Phil. 1816 ff.
41 Ann. of Phil. 1813 ff.
42 Schweigg. Jahrb. N. R. XXV. 405.
43 Bibl. univ. T. XXXVII. 9. Ann. Ch. et Phys. XXVII. 400.
44 Phil. Mag. LV. 319.
45 Ann. of Philos. 1813 ff.
46 Edinb. Phil. Journ. N. XXIV. p. 300.

Digitized by Google

Orte.	Polhöhe.	Höhe p.Fuſs.	Regen-menge p. Zoll.	Regen-tage.	Autoritäten.
Kopenhagen	55°,70	82	17,31	—	Bugge [47].
			19,52	—	Schouw [47b].
Lancaster .	54,05	—	37,25	168	Campbel [28].
Lausanne .	46,52	1533	37,75	—	Gasparin [15].
Leiden . .	52,15	—	49,88	107	Musschenbroek [48].
Lighton-Bazard	51,80	—	22,21	—	Tilloch [49].
Lissabon . .	38,70	—	25,39	—	Franzini [31].
Liverpool .	53,43	—	32,39	—	Hutchinson [50].
London . .	51,50	162	23,40	—	Howard [51].
Lüneburg .	53,25	—	24,00	—	Schübler [7].
Ludguam . .	51,10	—	38,46	—	Dalton [22].
Lund . . .	55,71	—	18,10	—	Schenmark [52].
Lyndon . .	52,66	—	17,14	—	Barker [53].
Lyon . . .	45,75	476	37,00	—	Brisson [4].
Madeira . .	32,60	—	28,15	—	Heineken [54].
Maestricht .	50,81	—	70,01	—	Quetelet [55].
Mafra . . .	38,93	—	41,54	—	Joaq. da Assumpçao Velha [31].
Mailand . .	45,47	394	36,50	—	Césaris [56].
Malabar. Küste	11,00	—	90,00	—	Le Gentil [57].
Malton . .	54,08	—	28,36	135	Stockton [58].
Man . . .	54,30	—	34,83	145	Stewart [59].
Manchester .	53,47	—	33,91	—	Dalton [60].
Mannheim .	49,50	258	21,01	145	Hemmer [5].
Manosque .	43,83	1200	21,98	—	Bouteille [6].
Mantua . .	45,07	—	28,77	—	Asti [6].

47 Hertha. X. 307.

47b Aus 39jährigen Beobachtungen in Collectanea meteor. Hafn. 829.

48 Introd. T. II. p. 999. §. 2365.

49 Phil. Mag. and Ann. T. II. p. 75.

50 Ann. of Phil. XV. 257.

51 Ebend. von 1812 an.

52 Schwed. Abhandl. Th. XXXVI. S. 126.

53 Philos. Trans. 1771. p. 221 ff.

54 Phil. Mag. and Ann. T. II. p. 364.

55 Einjähr. Beobacht. in Corresp. astron. VII. 182.

56 Mém. de la Soc. Ital. XVIII. 73.

57 Voyage T. I. p. 475.

58 Ann. of Philos. 1816 jährl.

59 Edinb. Journ. of Sc. N. X. 231. N. S. N. IV. 249.

60 Ann. of Phil. XV. 257.

Digitized by Google

Orte.	Polhöhe.	Höhe p. Fuſs.	Regenmenge p. Zoll.	Regentage.	Autoritäten.
Maranhao .	2°,5 s	—	259,80	—	Pereira Lago [61].
Mariette . .	39,50	—	38,92	—	Silliman [62].
Marostica .	45,30	—	40,90	—	Chiminello [6].
Marseille . .	43,30	144	17,3	55	Arago [63].
Martinique .	14,50	—	81,60	—	Moreau de Jonnes [8].
St. Maurice .	45,68	1772	23,12	144	Gallot [6].
Metz . . .	49,12	456	27,25	159	Le Gaux u. Laurian [6].
Middelburg .	51,51	76	25,40	163	Gasparin [15].
Mississippi .	31,50	—	40,14	—	L. von Buch [64].
Montmorenci	48,50	—	21,50	148	Cotte [6].
Montpellier .	43,60	—	30,40	85	Gasparin [15].
Mühlhausen .	47,81	708	28,30	164	Schübler [7].
Neapel . .	40,83	26	35,00	—	Moreau de Jonnes [8].
Near-Oundle	52,43	—	21,58	—	Dalton [22].
Near-Ware .	51,80	—	23,46	—	Dalton [22].
New-Bedford	41,50	—	45,96	—	Silliman [65].
New-Haven	41,00	—	51,38	—	Silliman [65 b].
New-Orleans	29,95	—	39,00	—	Moreau de Jonnes [8].
Nimes . .	43,83	—	23,73	—	Baux u. Valz [20].
Norwich . .	52,71	—	24,00	—	Dalton [22].
Ofen . . .	47,50	—	16,04	112	Weiss u. Bruna [5].
Orange . .	44,13	—	28,43	94	Gasparin [15].
Oxford . .	51,75	—	20,57	—	Robertson [66].
Padua . . .	45,50	56	34,55	126	Toaldo [67].
Palermo . .	38,15	—	20,80	—	Scina [31].
Paramatta .	33,80 s	—	28,10	—	Brisbane [68].
Paris . . .	48,83	262	{ 17,91 20,80 }	160	{ Arago [69]. Gasparin [15].

61 Einjähr. Beob. v. Humboldt Reis. V. 270.
62 American Journ. T. XIV.
63 Ann. Chim. et Phys. XXVII. 400. Andere Gröſsen sind oben angegeben.
64 G. XXV. 327.
65 American Journ. of Sc. XVI. p. 46.
65b American. Journ. of Sc. XIV.
66 Edinb. Journ. of Science N. II. p. 287.
67 Journ. de Phys. T. X.
68 Edinb. Phil. Journ. N. XIX. p. 119.
69 Journ. de Phys. 1816. Dec.

Digitized by Google

Orte.	Polhöhe.	Höhe p. Fuſs.	Regen-menge p. Zoll.	Regen-tage.	Autoritäten.
eiſsenberg .	47°,78	3145	20,70	—	Gasparin [15].
enzanze .	50,12	—	36,77	164	Giddy [70].
etersburg .	59,93	106	17,10	167	Kraft [71].
etit-Ance auf Domingo .	18,00	—	75,80	—	Moreau de Jonnes [8]
hiladelphia .	39,93	—	39,24	—	Andrew Ellicot [72].
			30,00	—	Ungenannter [73].
isa . . .	43,72	51	34,50	—	Brisson [4].
lymouth .	50,36	—	29,10	—	Brisson [4].
oitiers . .	46,57	—	22,17	—	de la Mezière [6].
rag . . .	50,08	592	15,40	109	Strnadt [20].
egensburg .	49,00	950	21,07	130	Placidus Heinrich [74].
io-Janeiro	22,90 s	—	55,60	—	Kämtz [75].
ochelle . .	46,15	83	24,25	146	Seignette und Fleuriau de Bellevue [76].
om . . .	41,90	141	29,30	120	Calandrelli [77].
otterdam .	51,92	—	21,20	187	Van Srouten [6].
ovigo . . .	45,25	—	30,82	—	Cittadini [12].
agan . . .	51,70	387	15,80	192	Preus [5].
alo . . .	45,66	—	39,40	—	Avanzini [12].
alzuffeln .	52,07	254	26,90	—	Schübler [7].
an-Carlos .	34,00 s	511	95,00	—	v. Humboldt [78].
elbourne .	51,00	—	34,91	—	Dalton [22].
eringapatam	12,00	—	22,22	—	Scarman [79].
iena . . .	43,36	—	32,05	—	Accad. di Siena [6].
ierra-Leona-Küste . .	9,00	—	80,94	—	Kämtz [75].
outh-Lambeth	51,25	—	21,30	—	Dalton [22].
parendam .	52,34	—	31,57	—	Engelmann [6].
tockholm .	59,33	300	17,58	—	Ehrenbeln [9].

70 Ann. of Phil. 1819 ff.
71 Comm. Pet. T. IX. p. 384.
72 Amer. Phil. Trans. T. VI. p. 28.
73 North Amer. Review. T. XXXII. p. 56.
74 Gehlen's u. Schweigger's Journ.
75 Meteor. Th. I. S. 430. Aus Winterbottom Nachrichten.
76 Beob. von 1777 bis 1793. in Ann. Ch. Ph. T. XLII. p. 366.
77 G. XXIV. 239.
78 Reisen. D. Ueb. Th. IV. S. 301.
79 Beobacht. von 1816. Edinb. Journ. of Sc. N. X. p. 258.

Orte.	Polhöhe	Höhe p.Fuſs.	Regenmenge p. Zoll.	Regentage.	Autoritäten.
Straſsburg . .	48°,57	450	25,57	153	Herrenschneider[80].
Stuttgart . .	48,77	837	23,75	155	Schübler[7].
Tegernsee .	48,15	2324	43,80	170	Gasparin[15].
Tolmezzo .	46,40	—	70,04	—	Spangaro[12].
Toulon . .	43,12	—	17,50	—	Gasparin[15].
Toulouse .	43,60	446	23,66	—	Gasparin[15].
Townley . .	53,75	—	38,47	—	Dalton[22].
Trient . .	46,16	754	33,35	—	Eberle[12].
Trier . . .	49,77	379	27,90	146	Schübler[7].
Triest . . .	45,63	265	32,00	—	Schübler[7].
Troyes . .	48,30	—	22,40	140	Rondeau[6].
Tübingen .	48,52	1010	23,90	110	Schübler[7].
Turin . . .	45,07	738	24,86	100	Bonin[81].
Udine . . .	46,15	66	59,57	—	Asquini[12].
Ulm . . .	48,40	1130	25,15	—	Schübler[7].
Upminster .	51,75	—	18,30	—	Dalton[22].
Upsala . .	59,85	—	14,41	—	Celsius, Hiörter[82].
Utrecht . .	52,08	—	23,20	—	Brisson[4].
Vallerie, La	46,12	—	23,80	146	De Monroy[83].
Venedig . .	45,42	12	29,90	—	Schübler[7].
Vera Cruz .	19,20	—	62,17	—	v. Humboldt[78].
Verona . .	45,43	157	34,56	84	Cagnoli[84].
Vicenza . .	45,45	—	41,06	—	Kämtz[12].
Vinoix, St. .	—	—	23,94	—	Guillin[6].
Viviers . .	44,50	—	33,97	98	Flaugergues[85].
Waith-Sutton	54,48	—	43,16	—	Dalton[22].
Weiſsenburg	49,03	564	25,90	—	Schübler[7].
Westchester	39,94	—	44,01	—	Darlington[86].
Westeräs . .	59,55	—	17,33	—	Schouw[87].
Widdrington	55,00	—	19,72	—	Dalton[22].
Wien (?) .	—	—	44,80	—	Ungenannter[88].

80 Beobachtungsregister mspt.

81 Vassali Eandi in Mém. de Turin. 1805 bis 1808. p. 25.

82 Aus 23jähr. Beob. in Cotte Mém. II. 609.

83 Beob. von 1810 bis 1827 in Ann. de Chim. et Phys. XLII. 366.

84 Memor. della Soc. Ital. 1788 ff. Osserv. Met. agron. in Verona 1812 ff.

85 Aus 40jähr. Beob. in Bibl. univ. VIII. 127. Journ. de Phys. LXXXI. 104. Ann. Ch. Phys. XXVII. 400.

86 Silliman Amer. Journ. of Sc. IV. 327. XIV. 29.

87 Aus 14jähr. Beob. in specim. geograph. phys. p. 55.

88 North Amer. Review. XXXII. 56.

Digitized by Google

Orte.	Polhöhe.	Höhe p. Fuſs.	Regenmenge p. Zoll.	Regentage.	Autoritäten.
Wien . . .	48°,20	451	16,00	114	Schübler[7].
Wittenberg .	51,87	248	16,00	—	Brisson[4].
Würzburg .	49,80	525	14,06	141	Egel[5].
Zürich . .	47,36	1251	32,18	—	Scheuchzer[89].
Zwanenburg	52,50	—	24,35	—	Cotte[90].

i) Einfluſs des Monds auf die Regenmengen.

Man hat seit langer Zeit behauptet, daſs der Anfang und das Aufhören des Regens an den periodischen Wechsel der Mondsphasen gebunden sey und daſs dieser Trabant überhaupt einen Einfluſs auf die Regentage und die Quantität der hydrometeorischen Niederschläge äuſsere. Später wurde die Thatsache bestritten, in den neuesten Zeiten aber aufs Neue, namentlich durch Flaugergues und Schübler, als der Erfahrung gemäſs vertheidigt, während andere, und namentlich ich selbst, bei ihrem Widerspruche beharrten. Weil jedoch der problematische Einfluſs nicht bloſs in Beziehung auf den Regen, sondern auch auf sonstige meteorische Processe statt finden soll und daher eine in dieser Beziehung allgemeinere Untersuchung fordert, so ist diese am geeignetsten für den Art. *Meteorologie*.

D. Elektrische Beschaffenheit des Regens.

Daſs die Luftelektricität beim Regen den schnellsten und stärksten Veränderungen ausgesetzt sey, ist aus den Erscheinungen des Gewitters auch denen hinlänglich bekannt, die in die genauere Kenntniſs der Meteorologie nicht eingeweiht sind. Inzwischen ist dieser Gegenstand bereits ausführlich abgehandelt worden und ich kann daher auf jene Untersuchungen verweisen[1]. M.

89 Naturhistorie des Schweitzerlandes. Zurich 1752. In Kämtz Meteor.

90 Aus 44jähr. Beob. in Cotte Mém. II. 613.

1 S. Art. *Luftelektricität*. Bd. VI. S. 485.

Regenbogen.

Iris, Arcus coelestis; Arc en ciel; *Rainbow.* Der Name des farbigen Bogens, der sich im herabfallenden Regen oder anscheinend in der Regenwolke zeigt, wenn es beim Sonnenschein der Sonne gegenüber regnet. *Regengalle* heiſst an einigen Orten der unvollkommene Regenbogen, von dem nur Stücke nahe am Horizonte geſehn werden.

I. Beschreibung und Theorie der beiden Regenbogen.

Man sieht, wenn die Erscheinung vollständig ist, zwei farbige Bogen, die sich beide an der Seite des Himmels, welche der Sonne gegenüber liegt, zeigen. Sie sind concentrisch und man überzeugt sich leicht, daſs beide Bogen ihren Mittelpunct genau der Sonne gegenüber haben, in der Richtung nämlich, wohin der Schatten des Kopfs des Beobachters fällt. Der innere Bogen heiſst, seiner viel lebhafteren Farben wegen, der *Hauptregenbogen* (*iris primaria*), der äuſsere der *Nebenregenbogen* (*iris secundaria*). Der Hauptregenbogen zeigt die Farben des prismatischen Farbenbilds und zwar macht das Roth den äuſsern Rand, oder der Halbmesser des rothen Bogens ist gröſser, als der Halbmesser der übrigen im Hauptregenbogen vereinigten Farbenbogen, die sich in eben der Ordnung, wie im prismatischen Farbenbilde, an einander reihn, so daſs der violette Bogen den innern Rand bildet. Eine Wiederholung des Grün und Violett am innern Rande, welche man oft beobachtet, gehört eigentlich nicht mehr zu dem Hauptregenbogen, sondern bedarf, als ein andrer Nebenbogen, einer besondern Erklärung. Die Farben gehn sehr verwaschen in einander über und zeigen sich nicht so rein gesondert, wie man sie in dem Farbenbilde des Prisma's zu erhalten pflegt. In dem äuſsern Regenbogen erscheinen die Farben in entgegengesetzter Ordnung, so daſs das Violett den äuſsern Rand bildet, das Roth den innern Rand oder den Bogen, dessen Halbmesser am kleinsten ist. Daſs die Regentropfen und nicht die Wolke die Veranlassung zur Entstehung des Regenbogens geben, sieht man daraus, daſs der

Digitized by Google

untere Theil des Regenbogens oft in seinem vollen Glanze vor den Gegenständen auf der Erde sichtbar ist und diese zu bedecken scheint; steht der Beobachter hoch, so kann er den Regenbogen zuweilen, als beinahe einen ganzen Kreis bildend, auch vor den nicht sehr entfernten, unter ihm liegenden, Gegenständen sehn. Der Regenbogen zeigt sich nur bei Sonnenschein und zwar ist es nicht so unbedingt erforderlich, daſs die Sonne an dem Orte von Wolken frei sey, wo der Beobachter sich befindet, sondern daſs sie auf die Regentropfen in der Gegend, wo die Erscheinung des Regenbogens entsteht, ungehindert ihre Strahlen werfe. Ist die Sonne für einige der Gegenden, wo der Regenbogen erscheinen sollte, bedeckt, so ist dort der farbige Bogen unterbrochen.

Obgleich die Sonne am meisten geeignet ist, die Regenbogen hervorzubringen, so besitzt doch auch der Mond hierzu Licht genug, und es kann sich daher ein *Mondregenbogen* zeigen, den schon Aristoteles gekannt hat und der später nicht so sehr selten beobachtet worden ist. Wegen der Schwäche des Mondlichts hat man zuweilen die Farben nicht unterscheiden können, sondern diese Bogen nur als weiſse oder gelbliche Bogen gesehn. In einzelnen Fällen zeigen sie aber doch auch Farben, und man hat es der Mühe werth gefunden, Beispiele der Art zusammenzustellen[1].

Man sieht den Regenbogen auch zuweilen im Nebel weiſs und ohne Farben, vermuthlich weil das geschwächte Sonnenlicht das Erkennen der Farben nicht gestattet.

Die Entstehung des Hauptregenbogens läſst sich vollkommen durch Lichtstrahlen, die in den Regentropfen zwei Brechungen und eine Zurückwerfung erleiden, erklären. Betrachtet man zuerst nur *einen* auf die Wasserkugel BD fallen- Fig. 227.

---

1 Montucla hist. des math. II. 545. G. XI. 480. De Zach Corr. Astr. X. 542. Daſs selbst dann ein Mondregenbogen erscheinen kann, wenn der Mond im ersten Viertel ist, zeigt eine Beobachtung im Philos. Magaz. 1833. Apr. p. 317. — v. Lindenau macht in der astr. Zeitschr. II. 349. auf die Verschiedenheit aufmerksam, die man bei Mondregenbogen darin beobachtet hat, daſs sie zuweilen Farben zeigen, zuweilen nicht. Bei künftigen Beobachtungen wäre wohl eine Aufmerksamkeit auf den Umstand, ob der Mond mit hellem oder trübem Lichte schien und ob davon der Unterschied abhängt, zu wünschen.

Digitized by Google

den Sonnenſtrahl AB, ſo iſt es offenbar, daſs dieſer bei B gebrochen nach BD gehn wird und hier zwar zum Theil abermals gebrochen hervorgeht, theils aber, an der Hinterſeite des Tropfens zurückgeworfen, nach E gelangt, von wo er wiederum gebrochen nach EF hervorgeht. Wenn man die von einerlei Puncte der Sonne ausgehenden Strahlen AB, ab betrachtet, ſo findet man im Allgemeinen, daſs dieſe parallel einfallenden Strahlen nicht auch parallel wieder hervorgehn, ſondern divergiren und daher auf das Auge nur einen ſchwachen Eindruck machen; aber für einen gewiſſen Punct B des Tropfens iſt die Brechung eine ſolche, daſs die dort parallel auffallenden Strahlen auch als parallel wieder hervorgehn und daher unzerſtreut dem Auge einen lebhaften Eindruck gewähren. — Die in dieſer Richtung durch Reflexion zu uns gelangenden Strahlen ſind es, die uns den im Regenbogen ſich zeigenden lebhaften Glanz darbieten, oder es ſind die

Fig. 228. *wirkſamen Strahlen.* Es ſey AC derjenige Lichtſtrahl, welcher, von einem entfernten Puncte A ausgehend, durch den Mittelpunct C des Tropfens geht; BD ſey ein mit AC paralleler Strahl, der bei D gebrochen nach DE fortgeht, ſo liegt E von dem verlängerten Strahle AC, der in F die Hinterſeite des Tropfens trifft, entfernt und der Winkel FCE $= \psi$ ändert ſich, wenn der Winkel ACD $= \varphi$ ſich ändert, oder jeder mit BD parallel einfallende Strahl trifft im Allgemeinen einen andern Punct E an der Hinterfläche; aber ψ erreicht bei fortwährendem Wachſen von φ ein Maximum, und für die Strahlen LM, welchen ein dieſem Maximum entſprechender Werth von φ zugehört, gelangen die benachbarten Strahlen lm, obgleich ſie in einem etwas verſchiedenen Puncte m auffallen, doch zu demſelben Puncte N, und dieſe Strahlen ſind die *wirkſamen Strahlen*, die uns die Erſcheinung des Regenbogens gewähren, indem ſie nach der Zurückwerfung in OP, op parallel ausfallen. Um den Werth von φ zu beſtimmen, der dieſes Maximum für ψ giebt, erhält man, da φ der Einfallswinkel des Strahls BD iſt und folglich Sin. CDE $= \mu$. Sin. φ, wenn μ das Brechungsverhältniſs beim Uebergange des Strahls aus Luft in Waſſer bezeichnet, $\psi = \text{ECF} = 2\,\text{CDE} - \varphi$. Da ψ ein Gröſstes werden ſoll, ſo muſs $d\psi = 0$ und d. CDE $= \frac{1}{2} d\varphi$ ſeyn, oder, da Sin. CDE $= \mu$ Sin. φ iſt,

Digitized by Google

$$\text{Cos. CDE} \,.\, 2\,d\varphi = \mu \,\text{Cos.}\,\varphi \,.\, d\varphi$$
$$\text{oder Cos. CDE} = 2\mu \;\text{Cos.}\;\varphi,$$
$$\text{zugleich Sin. CDE} = \mu \;\text{Sin.}\;\varphi,$$
$$\text{also } 1 = \mu^2 \,(\text{Sin.}^2\,\varphi + 4\;\text{Cos.}^2\,\varphi),$$
$$1 = \mu^2\,(4 - 3\;\text{Sin.}^2\,\varphi),$$
$$\text{woraus Sin.}^2\,\varphi = \tfrac{1}{3}\left(4 - \frac{1}{\mu^2}\right)$$
$$\text{oder Cos.}^2\,\varphi = \tfrac{1}{3}\left(\frac{1}{\mu^2} - 1\right) \text{ folgt.}$$

Die Strahlen also, welche für ψ den gröſsten Werth geben, fallen bei dem Wassertropfen, wo $\frac{1}{\mu}$ für die mittlern Strahlen $= 1{,}3356$ ist, da auf, wo

$$\varphi = 59^\circ\; 15'\; 35'' = \text{QM}.$$

Wenn M diesen Punct vorstellt, so ist es einleuchtend, daſs, weil der benachbarte Strahl lm nun auch in N eintrifft, die von N reflectirten Strahlen NO, No und die aus dem Tropfen gebrochen hervorgehenden Strahlen OP, op eben die Lage gegen CN an der andern Seite dieses Radius haben, wie LMN, lmN an der ersten Seite; die Strahlen LM, lm sind also parallel, statt daſs zwei andere, nahe an einander parallel einfallende Strahlen BD, bd, nachdem sie in E, e reflectirt worden sind, bei GH, gh divergirend hervorgehn. Ein Auge in P sieht also nach der Richtung PO ein kleines Sonnenbild, und da der Glanz dieses Sonnenbilds durch alle in eben der Richtung liegende Tropfen X, Y, Z verstärkt wird, so Fig.
zeigt sich in dem Abstande von dem der Sonne entgegenge- 229.
setzten Puncte, den der Winkel zwischen den verlängerten Strahlen LM und PO angiebt, ein Punct des Regenbogens. Offenbar ist für jeden in BD einfallenden und in GH ausfal- Fig.
lenden Strahl, wenn man ihre Richtungen verlängert, bis sie 228.
sich in U schneiden, $\text{BUG} = 2 \,.\, \text{BUC} = 2 \,.\, \psi$; also giebt $2\,\psi$, wenn man dafür den dem Maximum entsprechenden Werth setzt, an, wie weit der Punct im Regenbogen von dem der Sonne genau entgegengesetzten Puncte, dem Puncte, wohin der Schatten des beobachtenden Auges fällt, liegt, oder, wenn PR mit AC, BD, LM parallel ist, hat man $\text{RPO} = 2\psi$.

Aus dem vorhin gefundenen Werthe für $\varphi = 59^\circ\; 15'\; 35''$, welcher den gröſsten Werth für ψ giebt, folgt CDE oder

vielmehr CMN = $40^\circ\ 3'\ 20''$, $\psi = 20^\circ\ 51'$, OPR = $41^\circ\ 42$. Dieses ist also der ſcheinbare Halbmeſser des Hauptregenbogens und der Regenbogen erſcheint als ein Kreis, weil die ganz gleiche Betrachtung für alle Tropfen ſtatt findet, die in gleichem Winkel-Abſtande von der durch den leuchtenden Punct und das Auge des Beobachters gezogenen Linie liegen.

Dieſer glänzende Kreis, gleichſam zuſammengeſetzt aus einer Menge von Sonnenbildern, die dem Auge das von der Hinterſeite des Tropfens reflectirte Licht zuſenden, würde weiſs erſcheinen, wenn keine ungleiche Brechung der Farben ſtatt fände; aber da für jeden andern Werth von μ auch der dem Maximum zugehörende Werth von φ und folglich ψ ſich ändert, ſo erhält der violette Bogen im Hauptregenbogen einen andern Halbmeſser, als der rothe. Man überzeugt ſich auch leicht, daſs der Halbmeſser des violetten Bogens der kleinere iſt; denn da $\mathrm{Sin.}^2\ \varphi = \frac{1}{3}\left(4 - \frac{1}{\mu^2}\right)$ kleiner wird, wenn für den mehr gebrochenen Strahl $\frac{1}{\mu}$ gröſser iſt, ſo wird auch CDE und ψ kleiner. Für die violetten Strahlen iſt $\frac{1}{\mu} = 1{,}33888$, für die rothen $= 1{,}33209$, und es wird daher für jene $\varphi = 59^\circ\ 3'\ 50''$, $2\,\psi = 41^\circ\ 13'\ 40''$, für dieſe $\varphi = 59^\circ\ 27'\ 50''$, $2\ \psi = 42^\circ\ 12'$, und der violette Bogen würde um ungefähr einen Grad von dem rothen entfernt ſeyn, wenn die Sonne als ein bloſser Punct erſchiene [1].

Da die Sonne einen ſo bedeutenden ſcheinbaren Halbmeſser hat, ſo muſs man eben die Betrachtung für jeden Punct der Sonne wiederholen und es müſste jede Farbe, wenn ſie allein da wäre, einen Bogen, ſo breit als der ſcheinbare Durchmeſser der Sonne, darſtellen. Dieſe einzelnen Farbenbogen bedecken einander, und da zum Beiſpiel der gelblich grüne Bogen, durch Strahlen von mittlerer Brechung hervorgebracht,

---

1 Ich habe hier nach den von Fraunhofer angegebenen Brechungsverhältniſsen gerechnet; nach Newton's Angaben für die Brechung und Farbenzerſtreuung im Waſser, mit welchen Brewster nahe übereinſtimmt, würde man des violetten Bogens Halbmeſser = $40^\circ\ 17'$, des rothen = $42^\circ\ 2'$ finden, aber die Farbenzerſtreuung im Waſser iſt wohl nicht ſo groſs.

zwischen Kreisen von den Halbmessern $= 41^\circ 26'$ und $= 41^\circ 57'$ begrenzt seyn sollte, der rothe von $41^\circ 57'$ bis $42^\circ 28'$, der violette von $40^\circ 59'$ bis $41^\circ 30'$ sich erstrecken sollte, so bedecken die mittleren Farben einander und nur die äuſsersten Farben treten reiner hervor. Wenn das Wasser eine gröſsere Farbenzerstreuung bewirkte oder auch, wenn der Halbmesser der Sonne uns kleiner erschiene, so würden die Farben sich reiner getrennt im Regenbogen zeigen.

Der Regenbogen kann nicht über dem Horizonte erscheinen, wenn die Höhe der Sonne mehr als 42° beträgt, bei niedrigerem Stande der Sonne ist sein Bogen desto höher, je niedriger die Sonne steht, und beim Aufgange oder Untergange der Sonne erscheint er als voller Halbkreis. Wenn die Sonne beim Aufgange oder Untergange sehr roth erscheint, so zeigt auch der Regenbogen fast keine andern Farben, als roth und gelb, und desto weniger von andern Farben, je röther die Sonne selbst gefärbt ist[1].

Wenn man genau auf die scheinbare Erhellung des grauen Himmels unter dem Hauptregenbogen und ganz nahe über demselben achtet, so findet man, daſs der Himmel dunkler oberhalb des Regenbogens als unterhalb erscheint. Diese Verschiedenheit läſst sich leicht erklären. Befindet sich nämlich das Auge in P, so erhält es zwar nur aus den nach der Richtung PO liegenden Tropfen die eigentlich wirksamen Strahlen; aber ein in S liegender Tropfen würde doch genau ebenso nach P einen von der Rückseite reflectirten Strahl senden, wie der in E zurückgeworfene Strahl nach H gesendet wird. Das Auge P erhält demnach von allen unterhalb der Richtung PO liegenden Tropfen nicht bloſs Licht, das von der Vorderseite reflectirt wird, sondern zugleich ein von der Hinterseite reflectirtes, wenn gleich wegen der Divergenz der Strahlen nur sehr schwaches Licht. Dagegen erhält das Auge P von der Richtung PT her gar kein an der Hinterseite irgend eines Tropfens reflectirtes Licht, indem aus dem Tropfen DMN nirgends ein von der Rückseite zurückgeworfener Strahl in einer mit TP parallelen Richtung hervorgeht. Die zwischen Q und M einfallenden Strahlen werden in Puncte, die zwi-

1 Mém. de Paris 1708. 109. G. LXII, 113. Misc. naturae curios. Dec. 2. Ann. 3. 24.

schen F und N liegen, reflectirt und machen nach dem Hervorgehn einen kleinern Winkel als OPR mit PR; aber auch die jenseits m auffallenden Strahlen werden von Puncten, die zwischen F und N liegen, reflectirt und haben nach dem Hervorgehn Richtungen, die weniger als OP gegen PR geneigt sind. Ein nach PT sehendes Auge erhält daher zwar noch Lichtstrahlen, die von der Vorderseite der Tropfen reflectirt werden, aber keine von der Hinterseite reflectirte; es sieht daher den Himmel oder die graue Regenwand oberhalb des Hauptregenbogens mit schwächerem Lichte. In Beziehung auf dieses plötzlich ganz fehlende Licht von der Hinterseite des Tropfens bemerkt Cartesius ganz richtig, daſs die äuſsere Seite des Hauptregenbogens schärfer begrenzt sey, als die innere, und daſs der Nebenregenbogen sich an der innern Seite schärfer begrenzt zeige. Es wird sich nämlich aus den folgenden Betrachtungen ergeben, daſs von den Tropfen, die dem Auge zwischen beiden Regenbogen erscheinen, weder durch einmalige noch durch zweimalige Reflexion von der Hinterseite Strahlen zugesandt werden, wogegen Tropfen, die sich unter dem Hauptregenbogen befinden, doch einige Strahlen durch einmalige Reflexion von der Rückseite, und Tropfen, die sich oberhalb des Nebenregenbogens befinden, doch einige Strahlen durch zweimalige Reflexion von der Rückseite dem Auge zusenden.

Es ist wohl nicht ganz überflüssig, hier noch einem Zweifel zu begegnen, der mit Grund aufgeworfen werden könnte, wenn man nur an einen einzigen Tropfen denkt. Nimmt man
Fig. 228. nämlich gleiche Bogen Dd = Mm, den letzten in der Gegend, wo die wirksamen Strahlen einfallen, den andern an einer beliebigen Stelle, so ist es zwar einleuchtend, daſs eine Fläche in Pp etwas stärker erleuchtet werden wird, als eine Fläche Hh, indem auf jener, auch wenn man sich weiter entfernt, die parallelen Strahlen immer gleiche Erleuchtung bewirken, während auf Hh schon in wenig vergröſserter Entfernung die Erleuchtung durch die Divergenz der Strahlen vermindert wird; aber es scheint, daſs man doch einigermaſsen einen allmäligen Uebergang von der stärkern Erleuchtung zur schwächern wahrnehmen müſste. Dieses würde allerdings der Fall seyn, wenn nur *eine* Wasserkugel oder allenfalls einige wenige nahe hinter einander liegende diese Wirkung her-

Digitized by Google

vorbrächten; dagegen wenn tauſend Tropfen zuſammenwirken, ſo verhält es ſich ganz anders. Man kann nämlich, ohne weſentlich von der Wahrheit abzuweichen, ſagen, daſs tauſend Tropfen die Erleuchtung in Pp auf das Tauſendfache verſtärken werden, wenn ſie alle in der Richtung PO liegend (wie Fig. 229 zeigt) ihr ungeſchwächt zuſammenbleibendes Licht auf Pp werfen; dagegen iſt es offenbar, daſs die Divergenz der nach den Richtungen GH, gh ausfallenden Strahlen eine Verbreitung auf gröſsere Räume, ſtatt des Raums Hh, bewirken muſs, je entfernter die Tropfen ſind, daſs alſo tauſend Tropfen in der Richtung HG zwar alle einen kleinen Beitrag zu der Erleuchtung in H liefern, aber bei gröſserer Entfernung einen immer geringern Beitrag, ſo daſs ſie, ſtatt die tauſendfache Erleuchtung zu bewirken, dieſe nur in unbedeutendem Maſse erhöhn. So erklärt ſich alſo leicht der beinahe plötzliche Uebergang von dem hellen Lichte des Regenbogens zu dem dunkeln Grau in dem innern umſchloſſenen Raume.

Der zweite Regenbogen entſteht durch Strahlen, die an der Hinterſeite des Tropfens zwei Zurückwerfungen nach dem Innern zurück erlitten haben. Daſs auch hier nur diejenigen Strahlen die *wirkſamen* ſeyn können, welche nach dem Hervorgehn aus dem Tropfen parallel bleiben, erhellt ohne Schwierigkeit aus dem Vorigen; es läſst ſich auch leicht überſehn, daſs dieſes dann ſtatt findet, wenn die zwiſchen dem erſten und zweiten Reflexionspuncte gezogene Sehne für zwei einander ſehr nahe Strahlen parallel bleibt, und daſs dieſer Fall nur eintreten kann, wenn der Einfallspunct B an der untern Seite des durch den Mittelpunct gehenden Strahls liegt, Fig. 230. vorausgeſetzt nämlich daſs die Sonnenſtrahlen von oben herabwärts gehn.

Es ſey ECD der durch den Mittelpunct des Tropfens gehende Strahl und in B, wo $ACB = \varphi$, falle ein Sonnenſtrahl FB mit EC parallel auf. Daſs dieſer Strahl nach BG gebrochen, dann nach GH und zum zweiten Male nach HI zurückgeworfen nach der Richtung IK hervorgeht, läſst ſich leicht überſehn. Es erhellt auch, daſs der die ganze Figur ſymmetriſch theilende Radius CL ſo beſtimmt wird, daſs $\psi = ACB + BCG + GCL = \varphi + 270^\circ - 3.CBG$, zugleich aber Sin. $CBG = \mu$ Sin. φ und $d\psi = 0$ iſt, für den

hier gezeichneten Strahl, dessen zunächst benachbarter fb in gh mit GH parallel ist. Wir haben also

$$d\psi = 0 = d\varphi - 3 . d . CBG$$

$$\text{und } d . CBG = \frac{\mu \, d\varphi . \ \text{Cos. } \varphi}{\text{Cos. } CBG},$$

$$\text{das ist } 3\mu \ \text{Cos. } \varphi = \text{Cos. } CBG,$$

$$1 = 9 \ \mu^2 \ \text{Cos.}^2 \ \varphi + \mu^2 \ \text{Sin.}^2 \ \varphi = 9 \ \mu^2 - 8 \ \mu^2 \ \text{Sin.}^2 \ \varphi$$

$$\text{und Sin.}^2 \ \varphi = \tfrac{9}{8} - \frac{1}{8 \ \mu^2}.$$

Führe ich also sogleich die Rechnung doppelt für den violetten und rothen Strahl, so ist der hier geltende Werth

$$\text{von } \varphi \begin{cases} \text{für jenen} = 71^\circ \ 39', \\ \text{für diesen} = 71^\circ \ 52', \end{cases}$$

$$\psi = \begin{cases} 206^\circ \ 12' \\ 205^\circ \ 19' \end{cases};$$ der Winkel, den der zurückgeworfene Strahl IK mit dem Sonnenstrahle FB macht,

$$\begin{Bmatrix} = 2 . (26^\circ \ 12') = 52^\circ \ 24' \\ = 2 . (25^\circ \ 19') = 50^\circ \ 38' \end{Bmatrix},$$ so daſs im zweiten Regenbogen, wenn man noch den Halbmesser der Sonne berücksichtigt, der innere Rand des rothen Bogens nur 50° 22′, der äuſsere Rand des violetten Bogens 52° 40′ von dem der Sonne entgegenstehenden Puncte entfernt ist. Der Zwischenraum zwischen beiden Bogen ist also 8°, die Breite des zweiten Regenbogens 2° 20′ ungefähr.

Dieser Bogen begrenzt wieder die Gegend, von welcher Strahlen nach zweimaliger Reflexion im Innern des Tropfens gelangen. Der Strahl ED würde in D zum ersten Mal, in A zum zweiten Mal zurückgeworfen zu einem Auge bei Z gelangen, also aus eben der Richtung kommen, wo die Sonne selbst steht. Strahlen, die zwischen A und B auffallen, zum Beispiel SR, erhalten nach RQ, QP, PO gebrochen und zurückgeworfen und dann hervorgehend eine zwischen DZ und IK liegende Richtung ON, so daſs von der Sonne aus bis an den zweiten Regenbogen sich Tropfen befinden, die nach zweimaliger Reflexion Strahlen zu dem Beobachter senden, dieser zweite Regenbogen aber hier die Grenze bildet[1].

Man könnte eben diese Theorie auf einen durch dreimalige Zurückwerfung entstehenden Regenbogen anwenden, für den

---

1. G. LXII. 114.

$d\varphi = 4 d . CBG$ seyn müſste, also $\text{Cos.}^2 \varphi = \frac{1}{15}\left(\frac{1}{\mu^2} - 1\right)$, statt daſs dieses Quadrat für den zweiten Bogen $= \frac{1}{8}\left(\frac{1}{\mu^2} - 1\right)$, für den ersten $= \frac{1}{3}\left(\frac{1}{\mu^2} - 1\right)$ wurde. Dieser dritte Regenbogen würde nur 41^0 von der Sonne entfernt, aber, da bei jeder Reflexion so sehr viel Licht verloren geht, nur sehr schwach seyn. Daſs man diesen Regenbogen gewöhnlich nicht sieht, ist leicht zu begreifen, indeſs hat Bergmann ihn zweimal beobachtet und seinen Halbmesser ungefähr 42° gefunden [1].

II. Regenbogen in ungewöhnlicher Lage.

Man hat öfters eine Erscheinung ganz dem Regenbogen ähnlich in den Thautropfen auf einer Wiese oder in den Wassertropfen der Meereswellen gesehn, und diese Bogen sind es, die unter dem Namen *arc-en-terre, arc-en-mer* bekannt sind; im Deutschen scheint es keinen eignen Namen dafür zu geben. Die Erscheinung besteht darin, daſs ein farbiger Bogen, ganz dem Regenbogen zu vergleichen, aber von elliptischer oder oft von hyperbolischer Form sich auf dem Boden ausdehnt. Er kann in Tropfen nahe über der Erde oder in Thautropfen auf der Erde entstehn; denn es ist offenbar, daſs ein Auge in O, wenn in OS die Sonne steht, einen Farben- Fig.
glanz in dem Tropfen L, in den Tropfen M, N, Q sehn 231.
wird, wenn diese Tropfen 42° von der nach OP verlängerten SO entfernt erscheinen oder wenn POL = POM = PON = POQ = 42° ist. Das Auge sollte nämlich den Kreis RL als Regenbogen sehn, aber es referirt diesen Kreis auf die Wiesenfläche oder Meeresfläche, und da erhält die Linie MLNQ eine elliptische, parabolische oder hyperbolische Form, so wie es die Lage der Ebene des Bodens gegen die Kegelfläche OLR fordert [2].

---

1 Abh. der Schwed. Acad. für 1759. S. 234.

2 Beispiele solcher Beobachtungen sind: Phil. Tr. 1721. 229. Phil. Tr. 1751. 248. de Zach Corr. astr. X. 546. Miscell. acad. nat. curios. Dec. 2. A. 5. p. 273. Der Scheitel des hyperbolischen Bogens,

Die Regenbogen, die man in den Tropfen der Waſserfälle, in den an Mühlrädern umhergeschleuderten Tropfen, selbst in den Tropfen, die beim Fahren im Wasser umherspritzen, zu beobachten pflegt, gehören gleichfalls hierher.

Ebenso leicht sind die meisten Erscheinungen doppelter Regenbogen zu erklären. Diese sieht man nämlich, wenn man sich nahe genug an einer groſsen und stillen Wasserfläche befindet, aus welcher die zurückgeworfenen Sonnenstrahlen auf die Regentropfen fallen und so den doppelten Regenbogen hervorbringen. Da hier zwei Sonnen, eine ebenso tief unter dem Horizonte, als die andere über dem Horizonte ihre Strahlen auf die Tropfen werfen, so müssen um beide jenen zwei Sonnen entgegengesetzte Puncte sich Regenbogen bilden, und wirklich haben auch die oft genug beobachteten vier Regenbogen, zwei Hauptregenbogen und zwei Nebenregenbogen, ganz die Lage, die dieser Ursache gemäſs ist. Ich selbst habe einen solchen vierfachen Regenbogen am Ufer der Nordsee gesehn, wo die Wasserfläche zwischen mir und der Sonne lag, und ich bin überzeugt, daſs man die Erscheinung am Meere und auf dem Meere oft sehn müſste, wenn nicht das Bild der Sonne in den Wellen oft so unbestimmt und ausgedehnt wäre, daſs dadurch die Erscheinung aufgehoben wird [1]. Ist die Wasserfläche still genug, so zeigen sich die Farben auch in den durch die abgespiegelte Sonne hervorgebrachten Regenbogen mit sehr schöner Lebhaftigkeit.

Bei diesen Erscheinungen durchschneiden sich die beiden Hauptregenbogen und ebenso die beiden Nebenregenbogen am Horizonte; es läſst sich daher eine Beobachtung [2], wo ein ungewöhnlicher Regenbogen den Hauptregenbogen in seinem höchsten Puncte durchkreuzte, nicht auf diese Weise erklären, sondern man muſs für diesen ungewöhnlichen Fall annehmen, daſs da eine sehr helle und nur kleine Wolke neben der Sonne stand, deren Glanz stark genug war, um einen andern Regenbogen hervorzubringen.

---

der in Thautropfen erschien, war nur 3 Fuſs vor den Füſsen des Beobachters, dessen Schatten gegen 10 Fuſs lang war.

1 Beispiele solcher Beobachtungen: Phil. Tr. 1698. 193. Phil. Tr. 1793. 1. Mém. de Paris 1743. hist. 43. G. LXII. 124. Poggend. IV. 111. Baumgartner's Zeitschr. III. 201.

2 Phil. Tr. 1666. 221.

Digitized by Google

Zu den doch wohl ohne Zweifel mit dem Regenbogen verwandten Phänomenen gehört auch noch der von einigen Beobachtern um den Schatten ihres Kopfs im Nebel wahrgenommene groſse Ring. Die kleineren Kreise, die den Schatten des Kopfs in solchen Fällen umgeben, sind wohl als mit den Höfen verwandt anzusehn[1], aber Scoresby sah um diese kleinern Kreise noch einen gröſsern von 38° 50′ Halbmesser, der breit und weiſs war; Bouguer hat den Halbmesser eines ebensolchen Kreises sogar noch unter 34° gefunden[2], und man kann daher wohl den Umstand, daſs der Halbmesser merklich kleiner als bei dem Regenbogen ist, als erwiesen annehmen. Wäre, wie ältere Angaben es vermuthen lieſsen, für Eis die Brechung durch $\mu = 0{,}713$ bestimmt[3], so würde ein Regenbogen in Eiskügelchen einen Halbmesser von 33° haben, indem $\varphi = 55° \; 24'$, also der Halbmesser $= 32° \; 54'$ würde; aber Brewster legt für Eis der Brechung den durch $\mu = 0{,}\; 7728$ bestimmten Werth bei und hiernach müſste der Halbmesser des Eisregenbogens 46° seyn. Da man die Richtigkeit der letztern Angabe nicht bezweifeln kann, so scheint mir dieser Ring noch einer andern Erklärung zu bedürfen, und der noch etwas gröſsere Kreis, den Scoresby zugleich auch sah und den man mit dem Nebenregenbogen zu vergleichen geneigt seyn würde, läſst sich aus Brewster's für μ gefundenem Werthe nicht erklären.

III. Der Nebenbogen an der innern Seite des Hauptregenbogens.

Es ist eine sehr oft vorkommende Erscheinung, daſs der Hauptregenbogen, der durch den violetten Bogen unten begrenzt seyn sollte, an diesem noch einen zweiten grünlichen, dann einen zweiten violetten, einen dritten grünlichen und dritten violetten Bogen zeigt, die sich nach der oben mitgetheilten Theorie nicht erklären lassen. Diese Farbenwiederholungen, die immer nur matt sind, zeigen sich nur an dem

1 Vergl. Art. *Hof.* Bd. V. S. 441.

2 G. XVIII. 72.

3 Erxleben's Naturl. §. 343., wo aber der Beobachter nicht angegeben wird.

obern Theile des Regenbogens und werden, wenn man von der Gegend, wo der Bogen horizontal ist, zu den Schenkeln herabgeht, immer matter, so daſs sie schon in sehr bedeutender Höhe über dem Horizonte ganz unkenntlich werden.

In den zahlreichen Fällen, wo ich selbst diese Nebenbogen gesehn habe, zeigten sich nur jene beiden Farben mehrmals wiederholt, das Grün immer weniger rein, als das Violett, die zweite Farbenwiederholung schwächer, als die erste; aber es sind auch Fälle vorgekommen, wo man in diesen Nebenbogen alle Farben wahrgenommen hat. So beschreibt Langwith einen Regenbogen, wo sich an der innern Seite die gewöhnlichen Farben wiederholten und an diese noch Grün und Violett sich anschloſs[1]. Muncke beobachtete einen Regenbogen, in welchem sich da, wo das Violett des Hauptbogens matter ward, ein neuer hellerer Bogen anschloſs; alle übrige Farben, bis zum Roth hin, lagen innerhalb, so daſs der Regenbogen genau doppelt erschien, nur mit dem Unterschiede, daſs dieser untere Bogen nur zwei Drittel der Breite des Hauptbogens und etwas mattere Farben hatte[2]. Eine andere Beobachtung, wo vier innere Bogen und zwei von tiefem Roth erschienen, ist in Rücksicht auf die Farben insofern minder genügend, als sie bei untergehender Sonne angestellt wurde, wo in Ermangelung der übrigen Farbenstrahlen das Roth sich hervortretender zeigen muſste und auch leichter helle Wolken der Abendröthe eine Vervielfachung des Regenbogens bewirken konnten[3]. Die Farben Grün und Violett, auch öfter wiederholt, sind nicht selten beobachtet worden[4]. Bouguer glaubt, diese Nebenbogen erschienen nur, wenn die Sonne recht heiter scheine und die Gegend um den Regenbogen recht dunkel sey, aber ich erinnere mich, diese Beobachtung auch dann gemacht zu haben, wenn der Regenbogen auf einem gar nicht so dunkeln Himmel erschien.

1 Phil. Tr. 1723. 241. Hier sind mehrere Beobachtungen beschrieben.

2 G. XXIII. 471.

3 Philos. Magazine. 1827. Decbr. 466.

4 Hamb. Magaz. X. 229. Legentil (Mém. de Paris 1757. 40.) sah diese Nebenbogen blau und zwar eben so lebhaft blau, als das Blau im Hauptbogen.

Digitized by Google

Diese Erscheinung ist, so viel ich weiſs, noch gar nicht genügend erklärt, und ich muſs mich daher begnügen anzugeben, was für Erklärungen man vorgeschlagen hat, wobei ich mich aber kurz werde faſſen dürfen, indem alle bisherige Erklärungen viel gegen sich haben.

Die von einigen Schriftstellern geäuſserte Meinung, die ganze Erscheinung könne auf Täuschung beruhn, sie sey nur als aus subjectiven Farben entspringend anzusehn, ist gewiſs unrichtig. Wären es bloſs subjective Farben, so würde man sie am untern Theile des Regenbogens, an den herabgehenden Schenkeln, ebenso gut als oben sehn und ein Erscheinen aller Farben schiene ganz unmöglich.

Pemberton's Meinung[1], daſs die Wiederholung der Farben mit den Anwandelungen oder, nach unserer jetzigen Art zu reden, mit den Interferenzen in Verbindung stehe, hätte manches für sich, da die mehrmalige Wiederholung der Farben den Erscheinungen nicht unähnlich ist, die wir bei Newton's Farbenringen sehn. Aber ich sehe doch nicht ein, wie man bei der gewiſs statt findenden Ungleichheit der Tropfen es glaublich machen wollte, daſs hier eine so übereinstimmende Gleichheit oder genau gleiche Differenz in der Länge der durchlaufenen Wege statt finden sollte, wie sie bei den Interferenzen so unfehlbar nothwendig ist. Ebendiese Nothwendigkeit einer strengen Gleichheit scheint mir gegen Hellwag's Meinung, daſs Wellen auf der Oberfläche der Tropfen die Veranlassung dazu geben könnten, zu streiten.

Mehr hat Venturi's Erklärung für sich, welcher die Ursache dieses Phänomens in einer sphäroidischen Gestalt der Tropfen zu finden glaubt[2]. Wenn die Tropfen einen kürzern Verticaldurchmesser haben, so wird man ungefähr die Betrachtung so anstellen können, als ob der Lichtstrahl zwar in eine sphärische Oberfläche bei DBA einfiele, aber auf einer Fig.
zweiten, nicht demselben Mittelpuncte angehörenden Kugel- 232.
fläche SX reflectirt würde. Ist C der ersten Kugelfläche, Q der zweiten Kugelfläche Mittelpunct und ACS mit den einfallenden Strahlen IB parallel, so findet man den Punct X,

1 Phil. Tr. 1723. 245.

2 G. LII. 385. Venturi Comm. sopra la Storia e le Teorie dell' Ottica.

wo zwei benachbarte Strahlen nach der Brechung zusammentreffen, durch folgende Betrachtung. Es sey $ACB = \varphi$ dem Einfallswinkel gleich, $\text{Sin. } CBE = \mu \text{ Sin. } \varphi$ und $bBE = 90° - \varphi + CBE$ oder $cXE = \varphi - CBE$, so erhält man, wenn $CA = QX = r$, für jeden Punct des gebrochenen Strahls die Gleichung $r \text{Sin. } \varphi - z = (r \text{ Cos. } \varphi + x) \text{ Tang. } (\varphi - CBE)$, wenn man die Abscissen x von C nach a zu und die Ordinaten z senkrecht auf Ca nimmt. Diese Gleichung gilt für jeden Punct des gebrochenen Strahls; aber um den Durchschnittspunct dieses Strahls mit dem zunächst benachbarten zu finden, muſs man die vorige Gleichung differentiiren und $dx = dz = 0$ setzen, wo dann, da $d.CBE = \frac{\mu . d\varphi \text{ Cos. } \varphi}{\text{Cos. } CBE}$ ist,

$$r \text{ Cos. } \varphi = - r \text{ Sin. } \varphi \text{ Tang. } (\varphi - CBE) + \frac{(r \text{ Cos. } \varphi + x)}{\text{Cos.}^2 (\varphi - CBE)} \left(1 - \frac{\mu \text{ Cos. } \varphi}{\text{Cos. } CBE}\right)$$

hervorgeht, oder

$$r \text{ Cos. } \varphi . \text{ Cos. } (\varphi - CBE) + r \text{ Sin. } \varphi . \text{ Sin. } (\varphi - CBE) = \frac{(x + r \text{ Cos. } \varphi) (\text{Cos. } CBE - \mu \text{ Cos. } \varphi)}{\text{Cos. } CBE . \text{ Cos. } (\varphi - CBE)},$$

oder, da $\mu = \frac{\text{Sin. } CBE}{\text{Sin. } \varphi}$ ist,

$$r . \text{ Cos. } CBE = \frac{(x + r \text{ Cos. } \varphi) \text{ Tang. } (\varphi - CBE)}{\text{Sin. } \varphi . \text{ Cos. } CBE.}$$

Diese Gleichung mit der ersten zwischen x und z verbunden giebt den doppelten Werth

$$x + r \text{ Cos. } \varphi = \frac{r . \text{ Sin. } \varphi - z}{\text{Tang. } (\varphi - CBE)} = \frac{r . \text{ Sin. } \varphi . \text{ Cos.}^2 CBE}{\text{Tang. } (\varphi - CBE)}$$

oder $z = r . \text{ Sin. } \varphi . \text{ Sin.}^2 CBE = r \mu^2 \text{ Sin.}^3 \varphi$, woraus dann

$$x = - r \text{ Cos. } \varphi + \frac{r \text{ Sin. } \varphi (1 - \mu^2 \text{ Sin.}^2 \varphi)}{\text{Tang. } (\varphi - CBE)}$$
$$= - r \text{ Cos. } \varphi + \frac{r \text{ Sin. } \varphi . \text{ Cos.}^2 CBE}{\text{Tang. } (\varphi - CBE)} \text{ folgt.}$$

Für einen bestimmten Werth von φ erhält man also beide Coordinaten des Durchschnittspuncts x zweier benachbarter Strahlen, und da die reflectirten Strahlen von diesem Puncte

ebenso divergirend ausgehn, wie sie convergirend dahin gelangten, so nimmt Venturi an, daſs sie bei R hervorgehend nun ebenso wirksame Strahlen geben, wie es bei den in der Kugel reflectirten Strahlen der Fall ist.

Wenn dieses sich so verhält, so wird allerdings ein Farbenbogen, niedriger als der Hauptregenbogen, entstehn, wenn der Durchmesser AS gröſser, als der Verticaldurchmesser ist; es wird auch dieser Bogen nur in den Tropfen am besten erscheinen, die nahe an dem obern Theile des Regenbogens liegen, indem in den niedrigern Tropfen je mehr und mehr die Brechung und Zurückwerfung in dem kreisförmigen Horizontaldurchschnitte statt findet; aber dennoch scheint es mir, daſs nur bei sehr bestimmter Gestalt der Tropfen es wahr seyn kann, daſs nun auch die bei R hervorgehenden Strahlen parallel bleiben, weshalb wir erst die Gestalt der Tropfen genau müſsten kennen lernen, ehe wir über die Richtigkeit dieser Erklärung urtheilen können[1]. Ein wichtiger Einwurf dagegen ist auch noch der, daſs sich doch schwerlich eine zweimalige oder dreimalige Wiederholung der Farben so erklären läſst, und ein anderer Einwurf ist, daſs diese Nebenbogen sich gegen den untern Theil des Regenbogens nicht allmälig an ihn anschlieſsen (wie es wegen der je mehr und mehr kreisförmigen Querschnitte der Fall seyn sollte), sondern gleich entfernt bleiben, aber immer matter sich endlich ganz verlieren[2].

Da alle diese Erklärungen nicht genügend scheinen, so bin ich öfter wieder zu einem Erklärungsversuche zurückgekehrt, den ich schon vor langer Zeit bekannt gemacht habe; indeſs, da auch dieser mir nicht genug sichere Gründe für sich zu haben scheint, so will ich ihn nur kurz erwähnen. Wir sehn so oft, wenn die Sonne mit dünnen Wolken bedeckt ist, Höfe von der Art, deren Durchmesser nur wenige

1 Dieser Gedanke, daſs eine genaue Kenntniſs der Gestalt der Tropfen dieser Untersuchung zur Grundlage dienen müsse, welchen ich einmal gegen den Prof. Scholz äuſserte, veranlaſste diesen, seine Abhandlung de figura guttae cadentis in aëre resistente (Bresl. 1826) zu schreiben.

2 Ich habe mich ehemals etwas günstiger über diese Erklärung geäuſsert (G. LII. 385.), aber die angeführten Einwürfe scheinen mir doch ein groſses Gewicht zu haben.

Grade beträgt, um die Sonne; die Farben dieser Höfe sind, wie man am besten an der im Wasser gespiegelten Sonne sieht, von sehr glänzenden Farben und Grün und Violett sind vorzüglich darin kenntlich. Die Strahlen, die unserm Auge diese Höfe zeigen, fallen auch auf die Regentropfen, und ein Punct des grünen Hoſs sollte einen grünen Regenbogen, ein Punct des violetten Hoſs einen violetten Regenbogen u. s. w. hervorbringen. Denken wir nun zuerst nur an Puncte des Hoſs, die gerade *über* der Sonne stehn, so würden diese einen innern Nebenbogen hervorbringen, und diesen vorzüglich nur durch die stärker brechbaren Farben, Grün, Blau, Violett, weil der rothe und gelbe Bogen sich mit dem Blau und Violett des Hauptbogens mischen und unkenntlich werden würde. Betrachten wir ferner die *unter* der Sonne stehenden Theile des Rings, so sollten diese einen Nebenbogen oberhalb des Hauptbogens hervorbringen; aber dieser Nebenbogen erscheint erstlich in Beziehung auf das Grün, Blau, Violett nicht, weil diese Farben von einem nicht sehr groſsen Hofe nicht sehr entfernt von der Sonne, ausgehend noch auf den Hauptbogen fallen würden, und zweitens auch in Beziehung auf das Roth nicht, weil nach der Ordnung, welche die Farben in den Höfen beobachten, der aus dem grünen oder violetten Hofe hervorgehende, oberhalb des Hauptbogens liegende Nebenbogen sich mit dem rothen verbindet und daher keine Farbe kenntlich bleibt. So kann an der obern Seite des Regenbogens kein Nebenbogen entstehn, weil hier die den verschiedenen Farben des Hoſs entsprechenden Nebenbogen auf einander fallen, wogegen sie an der innern Seite stärker getrennt erscheinen. Diese Betrachtung scheint einiges Vertrauen für diese Erklärung zu erwecken, aber es bleiben dennoch Schwierigkeiten übrig, die theils in der Schwäche jener Höfe, theils in dem Umstande liegen, daſs die Nebenbogen nur am höhern Theile des Bogens erscheinen[1]. Diese Nebenbogen verdienen daher immer noch genau beobachtet zu werden, indem die Aufmerksamkeit auf alle Umstände vielleicht zu einem genügendern Erklärungsgrunde führt.

---

1 G. XIX. 464.

Digitized by Google

V. Geschichte der Meinungen über die Entstehung der beiden Regenbogen.

Obgleich die Alten, und namentlich Aristoteles, die Erscheinungen des Regenbogens sehr gut gekannt haben, so sind doch ihre Erklärungen höchst ungenügend, indem von einigen z. B. eine concave Wolke, worin eine Spiegelung statt finde, als die Veranlassung angesehn wurde[1]. Maurolycus hat ihn (wie Gehler angiebt) durch eine Reflexion an der innern Fläche des Tropfens erklärt, aber durch eine siebenmalige Reflexion, um den von ihm zu 45° angenommenen Halbmesser des Regenbogens zu erhalten[2]. Fleischer gab insofern eine richtigere Erklärung des Hauptregenbogens, als er eine zweimalige Brechung und einmalige Zurückwerfung des Lichtstrahls annimmt, aber er fand nöthig, zwei Tropfen in Betrachtung zu ziehn, nämlich so, daſs der Lichtstrahl in dem ersten gebrochen werde und, nachdem er aus diesem hervorgegangen sey, am zweiten reflectirt werde[3]. Auch Keppler scheint an eine Zurückwerfung des Lichtstrahls gedacht, aber doch die richtige Erklärung nicht gefunden zu haben[4].

Als den, durch welchen die richtige Erklärung des Regenbogens zuerst verbreitet worden ist, sieht man den Marcus Antonius de Dominis an, der durch Versuche mit hohlen Glaskugeln, die mit Wasser gefüllt waren, fand, daſs ein an der obern Seite einfallender Strahl an der Hinterseite der Kugel zurückgeworfen und dann herabwärts hervorgehend, also nach zweimaliger Brechung und einmaliger Zurückwerfung, ein Sonnenbild zeige. Da jede Farbe, um so gesehn zu werden, eine etwas andere Stellung des Auges fordert, so zeigte er richtig, daſs jede Farbe einen eignen Kreis im Regenbogen bilden

---

1 Ideler meteorologia veterum Graecorum et Romanorum. p. 191.

2 Gehler's Wörterbuch, a. A., Art. *Regenbogen*. Bergmann giebt des Maurolycus Erklärung anders an (Schw. Abh. 1759. 234. der Uebers.). Des Maurolycus Buch hat den Titel: Photismi de lumine et umbra ad prospectivam radiorum et incidentiam facientes. Lugd. 1613. p. 57. — Venet. 1575.

3 De iride doctrina Aristotelis et Vitellionis certa methodo comprehensa. Viteb. 1571. und Scheibel de Fleischeri in doctrinam de iride meritis. Vratisl. 1762.

4 Kepleri epist. 152. 228.

müsse und daſs der Mittelpunct dieser Kreise der Sonne gerade gegenüber liege. Sein Buch[1] ist 1590 geschrieben, aber erst 1611 herausgegeben worden. Montucla spricht von diesem Manne sehr geringschätzig, wogegen Gehler ihn vertheidigt, und so weit ich, ohne sein Buch selbst gesehen zu haben, urtheilen kann, hat Gehler wohl Recht, daſs seine Untersuchung gut geführt und gründlich dargestellt ist, so daſs sie ausgezeichnetes Lob verdienen würde, wenn man sie als sein ganz vollkommenes Eigenthum ansehn dürfte. Ob man dieses darf, darüber wird wohl nie eine eigentliche Entscheidung möglich seyn; aber wenn de Dominis, so wie Montucla andeutet, nicht der Mann war, von dem man eine so gelungene Erklärung erwarten konnte, so bringt der Umstand, daſs er einen Vorgänger hatte, dessen Buch noch, aber nur als Manuscript, vorhanden ist, wenigstens die Möglichkeit der Vermuthung hervor, es habe dessen Buch ihn erst zu jenen eigenen Untersuchungen, die immer Dank verdienen würden, geleitet.

Dieser Vorgänger, auf welchen Venturi zuerst aufmerksam gemacht hat[2], ist ein Deutscher, Theodorich aus Freiberg, der sein Buch nach Venturi's Angabe im Anfange des 14ten Jahrhunderts, ums Jahr 1311, schrieb[3].

---

1 De radiis visus et lucis in vitris perspectivis et in iride.

2 Comment. sopra la Storia e le Teorie dell' Ottica del Cav. G. Venturi. — Ein Auszug daraus in Ann. de Chém. et Phys. VI. 143.

3 Venturi fand eine Nachricht von den Schriften dieses Theodorich in einem Buche über die Schriftsteller aus dem Orden der Predigermönche und erhielt dann aus der Bibliothek in Basel ein Manuscript seines Buchs *de radialibus impressionibus et de iride.* Die Leipziger Universitätsbibliothek besitzt ein zweites Manuscript, das nach Dindorf's Beurtheilung gewiſs nicht gar lange nach der von Venturi angegebenen Zeit geschrieben seyn mag; eine undeutliche, auf dem ersten Blatte stehende Zahl scheint 1341 anzugeben. Dieses Manuscript ist zwar nicht ganz vollständig, indem da, wo die ausgeführtere Theorie des Hauptregenbogens anfängt, mehrere Blätter fehlen und auch am Schlusse etwas fehlt, aber die Folge der Capitel ist dem von Venturi gegebenen Auszuge gemäſs. Eine neuere Hand hat als Titel am Anfange geschrieben: *Tractatus* Theodorici *de Vribch de yride*, und ein anderes, diesem Manuscripte beigebundenes Manuscript hat am Schlusse die Worte: *Explicit Tractatus magistri* Theodorici *Teutonici ordinis praedicatorum de* etc. Das Manuscript

Dieses Buch, welches zugleich von der Zurückwerfung und Brechung des Lichts handelt, stellt die Theorie sowohl des Hauptregenbogens, als des Nebenregenbogens umständlich dar. Er nimmt vier Farbenstrahlen an, den rothen, gelben, grünen und blauen, und giebt eine Zeichnung, in welcher die Art, wie diese Strahlen verschieden einfallen müssen, um in der Ordnung zu erscheinen, wie wir sie sehn, dargestellt wird. Er drückt sich über die Hauptumstände der Erscheinung, daſs der Strahl beim Eintritte in den Tropfen gegen das Perpendikel zu gebrochen werde, dann an der Hinterseite, nach den Gesetzen der Reflexion, unter gleichem Einfalls- und Reflexionswinkel zurückgeworfen werde und beim Hervortreten aus dem Tropfen vom Perpendikel abwärts gebrochen werde, ganz genau aus. Ebenso erklärt er den zweiten Regenbogen genau und vollständig. Seine Figuren zeigen, daſs er sehr wohl wuſste, daſs der den äuſsern Regenbogen gebende Strahl an der untern Seite des Tropfens eintreten und an dem obern Theile hervorgehn müsse; er bemerkt ausdrücklich, daſs der von der Sonne kommende und der vom Tropfen zum Auge gehende Strahl sich durchkreuzen müssen, kurz seine Erklärung ist so vollständig, als man es für eine Zeit, die nicht mit den Kenntnissen, welche Cartesius besaſs, ausgerüstet war, nur immer erwarten kann. Venturi's Inhalts-Anzeige habe ich, so weit ich mir die Mühe habe zumuthen mögen, das schwer zu lesende Manuscript zu entziffern, richtig gefunden, seine Figuren sind den Figuren im Manuscripte völlig entsprechend, und ich kann daher die völlige Bestätigung, daſs Theodorich die wahre Theorie des Regenbogens gefunden habe, aus eigner Ansicht seines Buchs geben.

Viel später, aber, wie man schlieſsen kann, unabhängig von Theodorich und de Dominis, hat Marcus Marci 1648 eine Theorie des Regenbogens gegeben, die nicht so in den einzelnen Umständen genau ist, wie die von Theodorich[1]. Seine

---

ist auf Pergament, der gröſste Theil von einer schwer zu lesenden Hand geschrieben. Ich verdanke einer Mittheilung des verstorbenen Mollweide die erste Nachricht von dieser Handschrift.

1 Thaumantias, liber de arcu coelesti etc. auct. Joann. Marco Marci. Pragae 1648.

Erklärung ist richtig, insofern er die Zurückwerfung an der Rückseite, einmal bei dem Hauptregenbogen, zweimal bei dem Nebenregenbogen, sachgemäſs in Betrachtung zieht und auch auf die Brechung beim Eintritte und Austritte genau und mit Voraussetzung eines ziemlich richtigen Brechungsgesetzes Rücksicht nimmt. Aber seine Versuche mit dem Prisma verleiten ihn anzunehmen, die Strahlen könnten nur dann Farben geben, wenn sie im Innern der Kugel unter einem Winkel von 30° gegen den Radius geneigt sind, also vor dem Eintritte und nach dem Austritte einen Winkel von 41° 34′ mit dem Radius bilden. Nach dieser Voraussetzung berechnet er den Abstand des in der Kugel gesehenen Bildes von dem der Sonne entgegengesetzten Puncte für einmalige Reflexion, also den Halbmesser des ersten Regenbogens = 36° 52′. Für den zweiten Regenbogen verlangt er wieder, daſs der Strahl bei der zweimaligen Reflexion drei Sehnen durchlaufe, die 30° gegen den Radius geneigt sind, und nimmt daher unrichtig an, der den zweiten Regenbogen gebende Strahl gehe in demselben Puncte wieder hervor, wo er in den Tropfen eingetreten ist (im 66. Theorem wird dieses vom violetten Strahle ausdrücklich bemerkt)[1]. Hiernach findet er dann, daſs der Winkel zwischen dem einfallenden und ausfallenden Strahle dem doppelten Einfallswinkel gleich = 83° 8′ seyn müsse, und es ist auffallend, daſs er hierin nicht den Fehler seiner Theorie bemerkt hat, daſs sie nämlich den Halbmesser des zweiten Regenbogens um 30° zu groſs angab.

Jene Grundlage der Theorie des Regenbogens, daſs der Strahl nothwendig im Innern des Tropfens 30° gegen den Radius geneigt fortgehn müsse, scheint mir gänzlich auf der Voraussetzung zu beruhn, daſs nur dann der Strahl eine *vim colorigenam* bekomme, wenn er eben die Brechungen erleidet, die im gleichseitigen Prisma vorkommen können. Marci glaubte nämlich nach Theor. 28. sich überzeugt zu haben, daſs *eine* Brechung noch keine Farbe hervorbringe, und obgleich er kein anderes als ein gleichseitiges Prisma angewandt zu haben scheint[2], so sieht er es doch so an, als

1 Er glaubte dieses durch einen Versuch bestätigt zu finden. Theorem 65.

2 Vergl. Art. *Prisma*.

ob diese Form zur Erzeugung der Farben nothwendig sey. Dieses erhellt aus der Art, wie er das Problem, im Kreise die Puncte des Eintritts und Austritts für den farbengebenden Strahl zu finden, auflöst. Hier sagt er nämlich, wenn man einen Strahl betrachte, welcher im Eintritte und Austritte 30° mit dem Radius mache, so habe dieser *eandem rationem in circulo, quam in trigono;* dagegen, wenn man einen andern auf die Kugel auffallenden Strahl, z. B. unter dem Einfallswinkel = 50°, nehme, so mache der nach erfolgter Brechung einen Winkel = 35° 14′ 32″ mit dem Radius oder = 54° 45′ 28″ mit der Tangente, und unter eben dem Winkel treffe er auch beim Hervorgehn wieder an die Kugelfläche, statt daſs ein im gleichseitigen Prisma unter eben jenem Winkel eindringender Strahl die zweite Seite unter dem Winkel = 24° 45′ 28″ gegen das Einfallsloth erreiche. Jener Strahl sey also keinem der farbengebenden Strahlen ähnlich (*nulli ex colorigenis similis*)[1].

Auch über die Entstehung der Farben hatte Marci unvollkommene Vorstellungen und auch von der Seite ist also seine Erklärung mangelhaft; doch bemerkt er richtig, daſs man die Folge oder Ordnung der Farben nach dem, was man bei dem Prisma kenne, beurtheilen müsse. Marci leistete also bei groſser Sorgfalt in der Untersuchung doch nicht einmal das, was Theodorich geleistet hatte, indem dieser, wie mir scheint, ohne durch ein theoretisches Vorurtheil geblendet zu seyn, den Gang der Strahlen in der Entstehung beider Regenbogen so annahm, wie er aus der Lage des Regenbogens selbst schloſs, daſs sie statt finden müsse.

Cartesius hat nun allerdings darin weit mehr als seine Vorgänger geleistet, daſs er durch eine geometrische Untersuchung den Grund nachwies, warum nur unter dem bestimmten Winkel die Strahlen, welche den einen, und die Strahlen, welche den andern Regenbogen hervorbringen, *wirksame* Strahlen sind. Jene Bestimmung des Maximums für den Winkel ψ liegt in des Cartesius Untersuchung. Ueber die Farben sagt er bloſs, sie entständen, wie bei dem Prisma, indem der wirksame Theil des Tropfens mit einem Prisma zu vergleichen sey. Cartesius begründete seine Erklärung durch

1 Theor. 36. 37.

einen Versuch, den er mit einer mit Wasser gefüllten Glaskugel anstellte, welche ihm in bestimmter Stellung des Auges, etwa 42° von dem der Sonne entgegengesetzten Puncte, die Farben in der Ordnung zeigte, wie man sie im Hauptregenbogen sieht. Aehnliche Versuche hatte indeſs auch Marcus Marci angestellt[1], und selbst Theodorich scheint auf Versuche, die er mit einem Krystall angestellt habe, hinzudeuten.

Was die richtige Erklärung der Farben des Regenbogens betrifft, so ist kein Zweifel, daſs Newton diese zuerst und damit die erste vollkommen genügende Erklärung gegeben hat[2]. Unter den etwas spätern Untersuchungen über den Regenbogen verdienen noch die von Halley angeführt zu werden, welcher die den Regenbogen betreffenden Theoreme noch vollendeter darstellte und unter andern eine Formel angab, wie man aus dem gegebenen Halbmesser des einen oder des andern Regenbogens das Brechungsverhältniſs für den Uebergang des Strahls aus Luft in Wasser finden könne[3].

Regenmaſs.

Regenmesser, Hyetometer, Ombrometer, Udometer; *Hyetometrum, Hyetoscopium, Ombrometrum;* Hyetomètre, Ombromètre, Oudomètre; *Pluviameter, Rain-Gage.*

Regenmaſs nennt man jedes Werkzeug, welches dazu dient, die Menge des herabfallenden Regens zu messen; weil man aber in der Regel nicht gerade beabsichtigt, die Quantität des in dieser Gestalt aus der Atmosphäre erhaltenen Wassers, sondern überhaupt der hydrometeorischen Niederschläge kennen zu lernen, so dienen die sogenannten Regenmesser zur Aufnahme alles meteorischen Wassers, unter welcher Gestalt

1 Theor. 52. 58. 65.

2 Es ist auffallend, daſs 1679 in den Mém. de Paris. I. 294. die Entdeckung der ungleichen Brechbarkeit der Strahlen und der Ursache der Farben im Regenbogen dem Mariotte zugeschrieben wird.

3 Phil. Tr. 1700. 714.

dasselbe auch herabfallen mag. Die meisten hierzu vorgeschlagenen und in Anwendung gebrachten Apparate sind sehr einfach, weil dieses die Aufgabe selbst so mit sich bringt. Indem nämlich das Wasser der Hydrometeore auf die Erdoberfläche herabfällt und von dieser, mit Ausnahme des sogleich ablaufenden, eingesogen wird, um allmälig wieder zu verdünsten, so fordert die Aufgabe, diejenige Menge zu bestimmen, welche über einer gegebenen Fläche in einem bestimmten Zeitraume, meistens in einem Jahre, sich aufhäufen würde, wenn alle einzelne Quantitäten vereint blieben. Hiernach muſs jedes Regenmaſs aus einem Werkzeuge bestehn, welches alle über einer genau gemessenen Fläche herabfallenden atmosphärischen Niederschläge ohne Verlust auffängt und zur Messung darbietet; das Messen geschieht dann auf zweierlei Weise, entweder indem man die Höhe bestimmt, bis zu welcher das Wasser allmälig anwächst, oder indem man die erhaltene Menge vermittelst eines üblichen Hohlmaſses bestimmt. Beide Methoden sind dem Wesen nach wenig verschieden, jedoch ist die erstere die gebräuchlichste und es gebührt ihr im Allgemeinen wohl der Vorzug. Jedes Regenmaſs besteht hiernach aus zwei Gefäſsen, dem einen, worin das herabfallende Wasser aufgefangen, und dem andern, womit die Quantität desselben gemessen wird; beide können jedoch auch vereinigt seyn, wenn im Auffangegefäſse zugleich eine Vorrichtung zum Messen angebracht ist. Letzteres scheint zwar leicht zu seyn, auch empfiehlt es sich durch die groſse hieraus erwachsende Einfachheit, allein da man meistens zugleich beabsichtigt, geringe Mengen einzelner Regenschauer zu messen, wobei die Bestimmung der Höhe unsicher wird, und da noch andere Bedingungen zu berücksichtigen sind, so bestehn die meisten und bessern Regenmesser aus den beiden genannten Theilen.

Die Genauigkeit der Messung erfordert, daſs die Fläche des Auffangegefäſses, deren horizontale Richtung sich von selbst als nothwendige Bedingung ergiebt, genau begrenzt sey, wobei übrigens das Material ganz gleichgültig ist. Wird aber zugleich die Dauerhaftigkeit bei dem fortgesetzten Einflusse des wechselnden Wetters berücksichtigt, so empfiehlt sich Messing oder Kupfer als am meisten geeignet. Die Form dieses Gefäſses ist willkürlich, wenn nur der Flächeninhalt der Oeff-

Digitized by Google

nung unverändert bleibt, und aus dieser Ursache ist die kreisrunde am meisten geeignet, weil so gestaltete Gefäſse äuſsern Eindrücken am besten widerstehn und am leichtesten genau herzustellen sind. Weil ferner der Inhalt der auffangenden Fläche genau gemessen seyn muſs, die auf einen breiten Rand fallenden Antheile des Wassers aber leicht in das Gefäſs flieſsen könnten, so muſs ein solcher vermieden werden, obgleich es übermäſsige Sorgfalt seyn würde, den Rand ganz eigentlich scharf zu machen, vielmehr wird es keinen merklichen Nachtheil herbeiführen, wenn derselbe aus Kupferblech von 0,2 Lin. Dicke besteht und noch auſserdem durch einen umgelegten schmalen Ring gesteift ist, wonach die Breite der Randfläche 0,4 Lin. betragen würde; bei sehr groſser Sorgfalt könnte man jedoch auch die äuſsere Kante schräg wegnehmen und also die Breite der Randfläche unbeschadet hinlänglicher Steifheit auf weniger als 0,2 Lin. herabbringen. Groſse und schnell fallende Regentropfen schlagen mit beträchtlicher Kraft auf den Boden des Gefäſses auf, springen in die Höhe und über den Rand des Gefäſses. Um daher dieses nicht zu hoch zu machen, giebt man ihm schräge Flächen und verengert die obere Oeffnung desselben, wodurch das Herausspringen vermieden wird. Endlich tritt nach dem Regen sogleich wieder Verdunstung ein, welche im mittlern Deutschland nach den Versuchen von Senff[1] in Dürrenberg ungefähr 2,5 mal so viel aus einem Udometer beträgt, als die gesammte hineinfallende Regenmenge. Weil es aber sehr mühsam seyn würde, das Regenmaſs nach jedem Regen sofort auszuschütten, auſserdem aber das Aufschlagen der Tropfen auf das angesammelte Regenwasser ein beträchtliches Aufspritzen zur Folge zu haben pflegt, so ist es zweckmäſsig, das Gefäſs nach unten konisch zu vertiefen, damit die einzelnen Tropfen sogleich, ohne der Verdunstung einen merklichen Einfluſs zu gestatten, auf der schrägen Fläche herabflieſsen und durch eine enge Röhre in ein anderes Gefäſs gelangen, worin das Wasser eine längere Zeit hindurch angesammelt werden kann, ohne daſs die Menge desselben wegen der geringen Weite der Zuleitungsröhre durch Verdunstung merklich verringert wird. Sollen diese sämmtlichen Zwecke erreicht werden, so kann das

1 Gren Journ. d. Phys. Th. III. S. 687.

Auffangegefäſs nicht füglich eine andere Form haben, als die vereinter abgekürzter Kegel, wie sie in der Figur ausgedrückt Fig. ist, die den verticalen Durchschnitt durch die Mitte darstellt, 233. wobei es übrigens unbestimmt bleibt, unter welchem Winkel die konischen Seiten gegen einander geneigt sind, indem dieser ein kleinerer oder ein gröſserer seyn kann; es ist jedoch vortheilhaft, den Wänden eine etwas steile Richtung, etwa 60° Neigung gegen den Horizont zu geben, damit nicht zu viele Tropfen durch Adhäsion an ihnen hängen bleiben. Auf gleiche Weise ist zwar die Weite des Auffangegefäſses willkürlich, allein man wird sie doch am besten nicht zu klein wählen, weil in einzelnen Fällen die herabfallenden Regentropfen bedeutende Zwischenräume zwischen einander haben und daher die Messung unrichtig werden könnte, wenn die auffangende Fläche zu klein ist. Deswegen möchte ich 1 Fuſs oder 12 Zoll Durchmesser als am meisten geeignet betrachten, obgleich man auch etwas unter diese Gröſse herabgehn, nicht wohl dagegen über sie hinausgehn kann.

Nicht so allgemein und bestimmt läſst sich die zweckmäſsigste Form des Meſsgefäſses angeben, wie schon daraus folgt, daſs entweder die Höhe, bis zu welcher das Regenwasser anwachsen würde, wenn es über der Erdoberfläche stehn bliebe, oder der Maſsinhalt des über eine gegebene Fläche herabfallenden bestimmt werden soll, wenn gleich die erstere Art die allgemeinste und zweckmäſsigste ist. Auſserdem aber kann die Absicht seyn, den Ertrag jedes einzelnen Regenschauers kennen zu lernen, oder die gesammte Quantität des hydrometeorischen Wassers nach einem Mondwechsel, nach einem Monate, oder nach irgend einer willkürlichen Zeitperiode zu wissen, und dieses Resultat wiederum entweder durch unmittelbare Messung oder durch Selbstregistrirung aufzufinden. Zur Erreichung dieser verschiedenen Zwecke werden paſsliche Vorrichtungen erfordert, von denen ich die wesentlichsten, insbesondere die durch Erfahrung bereits erprobten, näher beschreiben werde.

Schon früher hat man den Regenmaſsen verschiedene, mitunter künstliche, Einrichtungen gegeben, obgleich von jeher auch willkürlich gestaltete Gefäſse zum Auffangen des Regenwassers und zur Bestimmung der Höhe, welche es er-

Digitized by Google

reichte, angewandt wurden. Mariotte[1] ist vermuthlich der erste, welcher zur Ausmittelung des Ursprungs der Quellen ein Gefäſs als Regenmesser anwandte und die Höhe bestimmte, welche das angesammelte hydrometeorische Wasser während eines Jahrs erreicht. Townley[2] sammelte zu Lancaster von 1677 bis 1693 das in ein Gefäſs von gemessenem Flächeninhalte herabfallende Regenwasser und bestimmte dessen Menge nach dem Gewichte. Ebenso verfuhr Derham[3] zu Upminster in Essex von 1697 an, in Paris aber begann de la Hire die Messungen des Regens, die man daselbst von 1699 an bis auf die neuesten Zeiten herab ohne Unterbrechung fortgesetzt hat. Das von Leutmann[4] beschriebene und durch eine Figur versinnlichte Regenmaſs besteht aus einem viereckigen zinnenen Trichter von einem Quadratfuſs oberem Flächeninhalte, dessen konisch verlängerte Spitze eine Weite von nicht mehr als der Dicke einer Erbse im Durchmesser hat. Auf der Spitze ist eine Glasröhre befestigt, die nach einer darauf befindlichen Scale etwas über drei ℔ Wasser aufnehmen kann. Sie ist unten in einer messingnen Fassung mit einem Hahne befestigt, deren gleichfalls sehr feine Spitze in eine zweite engere, auf Lothe und deren Theile abgetheilte Glasröhre gesenkt werden kann, um dasjenige Wasser, was nach Pfunden nicht genau gemessen werden kann, nach Lothen zu bestimmen. Der Erfinder bringt neben diesem allerdings sehr zweckmäſsigen Instrumente noch eine Art von Ofen in Vorschlag, um den Schnee aufzuthauen und dann gleichfalls zu messen. Der beschriebene Leutmann'sche Apparat wird auch in einem spätern, über meteorologische Werkzeuge handelnden, Buche[5] beschrieben, der Verfasser desselben empfiehlt aber mehr ein quadratisches Gefäſs von 2 oder 4 Fuſs Flächeninhalt der obern Oeffnung und 1 Fuſs Tieſe, in wel-

---

1 Traité du mouvement des eaux cet. Oeuv. à Leide. 1717. 4. T. 1. p. 326.

2 Phil. Trans. N. 208. p. 51.

3 Phil. Trans. N. 237. p. 47.

4 Instrumenta meteorognosiae inservientia. Wittembergae 1725. 8. Cap. 6.

5 Kurze Beschreibung der Barometer und Thermometer und andrer zur Meteorologie gehörigen Instrumente u. s. w. Nürnberg. 1768. 8. S. 217.

Digitized by Google

chem das Wasser unmittelbar mit einem Maſsstabe gemessen, oder vorher in ein kleineres, mit einer reducirten Scale versehenes, herabgelassen werden soll, um auf diese Weise auch die geringern Regenhöhen genauer zu bestimmen. Von gleich groſser Oberfläche, nämlich 4 Quadratfuſs, ist auch das in Frankreich gebräuchliche Regenmaſs, welches SIGEAUD DE LA FOND[1] beschreibt. Dasselbe soll von Zinn gemacht und 6 Zoll hoch seyn, an der einen etwas weniges geneigten Seite aber eine Röhre haben, durch welche das zusammenflieſsende Regenwasser in einen wohlbedeckten Krug abläuft; das Messen der Quantität soll dann mit einem gläsernen kubischen Gefäſse von 3 Zoll Seite geschehn, in welchem also das im Auffangegefäſse bis zu 0,5 Lin. Höhe anwachsende Wasser bis zu 32 Lin. ansteigt, auf welcher Höhe ein Zeichen angebracht wird, um beim Messen zu bestimmen, wie viele halbe Linien Höhe das Wasser im Auffangegefäſse erreicht haben würde. Hiernach kann die Regenhöhe allerdings sehr genau bestimmt werden, allein das Verfahren ist etwas mühsam.

Bei diesen Regenmaſsen darf man billig fragen, warum die Fläche des Auffangegefäſses so groſs seyn soll, da es so nahe liegt, einen einzigen Quadratfuſs als normale Gröſse anzunehmen; auffallend ist dagegen die Kleinheit, welche das Regenmaſs des ROGER PICKERING[2] haben soll, nämlich bloſs 1 Quadratzoll Fläche. Auch hierbei soll das Auffangegefäſs von Zinn und trichterförmig seyn, zum Messen aber dient eine bloſse Glasröhre von 0,5 Zoll Durchmesser auf einem Brete mit einer Scale, vermittelst welcher die Regenhöhen viermal vergröſsert in Zollen und deren Theilen gemessen werden. Die unleugbar zweckwidrige Kleinheit des Gefäſses abgerechnet ist diese Vergröſserung der Höhen empfehlenswerth. Sehr bekannt geworden sind die Regenmaſse, welche die Mitglieder der Mannheimer meteorologischen Gesellschaft anzuwenden pflegten. Sie bestehn aus einem zum Auffangen dienenden Kasten von Blech, mit einer seitwärts oder unten angebrachten Röhre zum Fortleiten des gesammelten Wassers in das Meſsgefäſs.

---

1 Dict. de Phys. Art. *Ombromètre.*
2 Phil. Trans. 1744. N. 473.

Die bisher angegebenen Constructionen leisten ziemlich vollständig alles dasjenige, was man von einem Regenmaſse verlangen kann, und die meisten derselben geben die Höhen an, welche das gesammelte Wasser erreicht. Wolf[1] verwirft die Bestimmung nach dem Gewichte gänzlich, obgleich dieselbe absolut genauer ist, da das Volumen sich nach der Temperatur verändert; allein diese Differenz ist nicht sehr bedeutend, da im Ganzen das Regenwasser ziemlich genau die mittlere Temperatur der Beobachtungsorte hat, und dagegen ist die Bestimmung nach der Höhe eine directe, aus welcher der Kubikinhalt und also auch das Gewicht der über eine gegebene Fläche herabfallenden Regenmenge leicht entnommen werden kann. Auſserdem ist Genauigkeit und Schärfe jeder Messung zwar ihre wesentlichste Eigenschaft, allein jederzeit nur im Verhältnisse zu dem beabsichtigten Zwecke. Bei der Bestimmung der Regenmengen kommt es aber rücksichtlich der ohnehin statt findenden bedeutenden Unterschiede nicht so sehr darauf an, ob man um Theile einer Linie fehlt oder nicht, wichtiger scheint mir dagegen die Bequemlichkeit der Messung. Die wenigsten Beobachter der Regenmengen haben die erforderliche Zeit, sogleich nach jedem einzelnen Schauer die Messung vorzunehmen, und steht der Regenmesser im Freien und gehörig entfernt von Häusern und Bäumen, wie dieses die Natur der Aufgabe erfordert, so ist bei allgemein verbreiteter Nässe der Zugang meistens beschwerlich. Hiernach scheinen mir diejenigen Regenmaſse den Vorzug zu verdienen, deren ich mich hier bediene. Das eine besteht aus einem Auffangegefäſse von Kupfer mit einem nach der Mitte etwas herabgehenden Boden, an welchem eine verticale Röhre von ungefähr 0,5 Z. Durchmesser befestigt ist, die am untern Ende den Deckel des Sammlungs- und Meſsgefäſses trägt. Letzteres wird von unten herauf in seinen, an der Röhre festsitzenden Deckel etwa 2 Lin. hoch hineingeschoben und hat einen an 3 Stellen eingeschnittenen Ring, dessen Lücken ebenso vielen, am Deckel befindlichen Haken den Durchgang verstatten. Dreht man demnach das von unten in den Deckel geschobene Sammlungsgefäſs etwas um seine verticale Axe, so fassen die Haken über den Ring und halten dasselbe fest. Das Auf-

1 Nützliche Versuche. Th. II. S. 237.

Digitized by Google

fangegefäſs steht auf einem mit drei Füſsen versehenen Ringe von Eisen, das Sammlungsgefäſs aber hat inwendig eine doppelte Scale, die einander diametral gegenüberstehend, zur Verhütung einer Neigung gegen den Horizont, das Ablesen der Höhen nach Zollen und deren Theilen gestatten. Der Durchmesser des Maſsgefäſses ist halb so groſs als der des Sammlungsgefäſses, mithin ist die Höhe des Wassers in demselben die vierfache und der Fehler wird daher in gleichem Verhältnisse vermindert. Besser würde es seyn, den Durchmesser des kleinern = 1 und des gröſsern = 2,236 zu wählen, um die fünffache Höhe und auf eine bequeme Weise Zehntheile der Zolle zu erhalten. Die Höhe des Sammlungsgefäſses beträgt 6 Zoll, so daſs also 1,5 Zoll Regenwasser gemessen werden können; es scheint mir aber eine etwas gröſsere Höhe noch vorzüglicher, um die monatlichen Regenmengen auch bei gröſserer Nässe messen zu können. Das zweite Regenmaſs ist auf gleiche Weise eingerichtet, aber das Auffangegefäſs ist auf einem Balken befestigt, welcher 10 Fuſs weit aus einem Dachfenster hervorragt, und aus der Mitte seines etwas concaven Bodens geht eine sogleich in einen rechten Winkel umgebogene Röhre bis zum Sammlungs- und Meſsgefäſse, welches mit einem Deckel genau verschlossen sich im Innern des Hauses befindet. Ein solches Hyetometer erfordert, daſs man beim jedesmaligen Entleeren des Meſsgefäſses durch die lange Röhre bläst, um überzeugt zu seyn, daſs nicht etwa hineingefallene Körper dieselbe verstopft haben. Auf gleiche Weise ist dasjenige eingerichtet, dessen sich Tardy de Brossy[1] bedient, jedoch ist letzteres vierkantig und von Weiſsblech, welchem Körper aber gewiſs der Vorzug vor dem Kupfer nicht gebührt; auch ist die Röhre daran mit einem Hahne verschlossen, den man öffnen muſs, um das Wasser ablaufen zu lassen und zu messen, was bloſs in dem Falle zweckmäſsig ist, wenn man das Ergebniſs der einzelnen Regenschauer augenblicklich zu messen beabsichtigt.

Es lohnt sich kaum der Mühe, die Modificationen der verschiedenen in Anwendung gebrachten Regenmesser einzeln namhaft zu machen; indeſs will ich die bekanntern hier kurz erwähnen. Die in Edinburg gebräuchlichen und zu 4 Lstl.

1 Bibl. univ. T. X. p. 92.

Digitized by Google

4 sh. verkäuflichen bestehn aus einem runden, trichterförmigen, metallenen Auffangegefäſse, welches in eine nur $\frac{1}{8}$ Z. weite Spitze ausläuft und mit dieser auf einer 30,5 Zoll langen messingnen Röhre befestigt ist, aus welcher unten eine mit einem Hahne verschlossene Spitze zum Ablassen des Wassers herabgeht. Aus derselben geht auf der andern Seite ein Canal heraus, welcher das enthaltene Wasser einer zweiten engen verticalen Glasröhre zuführt, so daſs die Höhe in beiden gleich ist, und eine an der letztern angebrachte Scale verstattet dann, die Höhen auf $\frac{1}{8}$ Zoll zu messen, wobei das Verhältniſs der Durchmesser des Auffangegefäſses und beider Röhren so eingerichtet ist, daſs die Höhen des Regenwassers bis auf 0,01 Zoll gemessen werden können. Diese Genauigkeit ist für den beabsichtigten Zweck sicher genügend, allein Matthew Adam zu Inverneſs hat sie noch weiter, nämlich bis zu 0,0001 Zoll getrieben. Zu diesem Ende läuft das Regenwasser aus dem Auffangegefäſse, in dessen unterem Theile sich eine fein durchlöcherte Platte zum Abhalten hineinfallender Körper befindet, in ein mit einem Deckel versehenes Glas, wird darin angesammelt und dann vermittelst einer engen graduirten, neben dem Apparate aufbewahrten Röhre gemessen, deren geringer Durchmesser die angegebene Genauigkeit gestattet. Was übrigens der Erfinder dieser letztern Vorrichtung noch über die Mittel beibringt, die er zum Messen des kubischen Inhalts der einzelnen Theile des Apparats angewandt hat, gehört als ohnehin bekannt nicht zu der eigentlichen Aufgabe [1]. Dr. Schrön hat ein Hyetometer angegeben und auf der Sternwarte zu Jena zum Behufe meteorologischer Beobachtungen aufgestellt, dessen konisches Auffangegefäſs oben einen Viertelfuſs Fläche hat und unten vermittelst eines Rahmens auf dem Rande des Sammlungscylinders ruht, der in einen Schrank herabhängt, dessen Deckel zugleich dem Auffangegefäſse zur festern Unterstützung dient. Durch die untere konische Oeffnung des Trichters ist ein Stab herabgesenkt, so daſs nur 0,25 Lin. Spielraum bleibt, wodurch das Wasser abflieſsen kann, ohne durch Verdunstung

1 Edinburg Phil. Journ. N. Ser. N. XXIV. p. 281. The Dublin Journal of Medical and Chemical Science N. II. p. 227. Edinb. Journ. of Science N. Ser. N. V. p. 53.

merklich zu verlieren. Ein am untern Ende des Stabs befindlicher Konus verschlieſst das Sammlungsgefäſs, aus welchem nach Lüftung desselben das Wasser in die Meſsröhre flieſst, vermittelst welcher die Regenhöhen bis auf 0,01 Linie meſsbar sind. Zum Auffangen des Schnees dient ein höheres Gefäſs, welches vermittelst eines Rahmens auf das Auffangegefäſs gesteckt wird[1]; inzwischen bedarf es dessen nicht, sobald man dem letztern die von mir oben angegebene Höhe und Gestalt giebt, auch ist ein Stampfer zum Feststampfen desselben überflüssig, wenn man in denjenigen Gegenden, wo man reichliche Schneefälle zu erwarten hat, das Auffangegefäſs etwas höher macht, insbesondere da man den ganzen Apparat nach dem Aufhören des Schneiens leicht vom Ringe des Dreifuſses wegnehmen und in ein warmes Zimmer zum Aufthauen bringen kann, was übrigens auch mit dem von Schrön vorgeschlagenen ohne Schwierigkeit geschieht.

Eine nähere Untersuchung verdienen noch die *selbstregistrirenden Regenmaſse.* Schon früher hat Herrmann[2] ein solches bekannt gemacht, welches aber schwerlich jemals wirklich ausgeführt worden ist. Dasselbe besteht aus einer runden Scheibe mit 12 gemeinen Regenmessern, nämlich bloſsen Gefäſsen mit gleichgroſsen Auffangetrichtern. Die Scheibe ist um ihre verticale Axe beweglich und mit einer Schlaguhr so verbunden, daſs jederzeit nach Verlauf einer Stunde ein andrer Trichter unter eine Oeffnung in einem unbeweglichen Dache geschoben wird, so daſs man an den nach den Stunden numerirten Gefäſsen sehn kann, ob und wieviel es in jeder Stunde geregnet hat. Für eine kurze Regenzeit wäre eine solche Vorrichtung allerdings interessant, als gewöhnlicher Regenmesser aber, wenn es oft Monate lang nicht regnet, ist sie zu kostbar und erfordert zu viele Aufmerksamkeit auf den richtigen Gang der dazu verwandten Uhr.

Ein anderes selbst registrirendes Regenmaſs ist durch Be-

1 Das Laboratorium, eine Sammlung von Abbildungen und Beschreibungen der besten und neuesten Apparate zum Behuf der praktischen und physikalischen Chemie. Weimar 1829. Hft. 13.

2 Mechanischer verbesserter Wind-, Regen- und Trockenheitsbeobachter. Freib. u. Annab. 1789. 8.

van[1] in Vorschlag gebracht worden, welches im Wesentlichen gleichfalls aus einem 12 Zoll im Durchmesser haltenden Auſſangetrichter besteht, aus welchem das Regenwasser in den Sammlungs-Cylinder von 6 Zoll Durchmesser und 3 Fuſs Höhe abflieſst. Im letztern befindet sich ein Schwimmer mit einem aufrecht stehenden hölzernen Stabe, an dessen oberem Ende eine Fassung mit einem Bleistifte angebracht ist, dessen Spitze vermittelst einer Feder gegen einen mit Papier umwickelten messingnen Cylinder gedrückt wird, welchen ein Uhrwerk während einer bestimmten Zeit um seine verticale Axe dreht, so daſs eine durch die Bleistiftspitze auf dem Papiere gezeichnete Linie die zunehmende Höhe des Regenwassers und die bis zur Erreichung derselben verfloſſene Zeit angiebt. Inzwischen möchte ich auch bei diesem Apparate die wirklich statt gefundene Anwendung bezweifeln, denn diese erscheint als höchst unbequem, sobald man berücksichtigt, daſs das Papier in nicht langen Zeitintervallen wieder erneuert werden muſs.

Dieser Vorwurf ist demselben auch bereits durch John Taylor[2] gemacht worden; man ersieht aber aus den Einwendungen, welche der Erfinder hiergegen vorbringt, nur soviel, daſs der Apparat wirklich einige Jahre gebraucht, vermuthlich aber nachher nicht weiter benutzt wurde, obgleich es nur für eine geringe Mühe ausgegeben wird, jede Woche die Uhr aufzuziehn und den Cylinder mit einem neuen Papiere zu versehn.

Ungleich bequemer und in jeder Hinsicht sinnreich construirt ist dasjenige Regenmaſs, welches John Taylor selbst angegeben, der Mechaniker Henry Russell aber in groſser Vollendung ausgeführt hat[3]. Der Bau desselben wird durch die Ansicht der Zeichnung hinlänglich klar, so daſs die Beschreibung bloſs dazu dient, den Mechanismus der einzelnen Fig. 234. Theile näher anzugeben. Aus dem (in dieser Figur nicht gezeichneten) Sammlungstrichter geht der Schlauch s herab und leitet das Regenwasser in das Maſsgefäſs A, welches aus drei Abtheilungen besteht, von denen jederzeit eine dasselbe auf-

1 Philos. Mag. and Ann. of Phil. II. 74. Edinb. Journ. of Science XIV. p. 360.

2 The Philos. Magaz. or Annals cet. T. III. p. 29.

3 Ebend. T. II. p. 406.

nimmt, dadurch ein Uebergewicht erhält und herabsinkt, bis sie, auf der andern Seite wieder gehoben, ihren Inhalt zum Ablaufen durch den Boden ausschüttet. Damit dieses nicht zu schnell geschieht und das Gefäſs hierdurch keinen Umschwung erhält, ist der unten gebogene Stab B angebracht, welcher gegen die Zapfen c, c, c drückt, zur Beförderung der Reibung eine rauhe Oberfläche hat und auſserdem durch das bewegliche Gewicht C angedrückt wird. Um die Umdrehung noch genauer zu reguliren, dient die schwache Feder d, welche gleichfalls durch die Zapfen c, c, c gehoben werden muſs und dadurch bewirkt, daſs jederzeit die folgende Abtheilung unter das Rohr des Auffangetrichters zu stehn kommt. Da die Umdrehung des Maſsgefäſses allezeit durch eine bestimmte Quantität des aufgenommenen Regenwassers bewirkt wird, die durch eine Verschiebung des Gegengewichts C genau regulirt werden kann, so bedarf es bloſs einer Vorrichtung zum Zählen der Umdrehungen, um hieraus das Maſs des herabgefallenen Regens und somit die Höhe desselben aus diesem und der verhältniſsmäſsigen Oeffnung des Auffangetrichters zu finden. Zu diesem Ende beträgt die Fläche dieser Oeffnung 72 Quadratzoll, das Maſsgefäſs aber ist so eingerichtet, daſs es durch 7,2 Kubikzoll Wasser einmal umgedreht wird, wonach also 2,3 Kubikzoll eine Zelle desselben zum Herabsinken bringen. An der Axe des Maſsgefäſses ist ein Getriebe e mit 8 Fig. 235.
Triebstecken befestigt, welche in die Zähne des Rads f eingreifen, deren Zahl 80 ist, so daſs das Rad einmal umläuft, wenn das Gefäſs 10 Umdrehungen vollendet hat. Indem aber eine Umdrehung des Gefäſses durch 7,2 Kubikzoll bewirkt wird, welche den zehnten Theil des Flächeninhalts des Auffangetrichters bei einem Zoll Höhe betragen, so miſst eine solche einzelne Umdrehung 0,1 Zoll Regenhöhe und der Inhalt einer einzelnen Kammer $\frac{1}{30}$ Zoll, welche Gröſse man als die Grenze der Messung mit diesem Instrumente ansehn kann, wobei jedoch vorausgesetzt wird, daſs in der Ausführung alle drei Kammern gleich groſs sind. An der Axe des ersten Rads f befindet sich ein Zeiger, welcher auf einer getheilten Scheibe die einzelnen ganzen Umläufe des Maſsgefäſses von 1 bis 10 anzeigt, jedoch können die Zwischenräume füglich in 3 Theile getheilt werden, um auch die einzelnen Dreiſsigstel der Regenhöhen zu messen; auſserdem aber befindet sich an

Digitized by Google

dieser Axe des Rads f ein Getriebe von 8 Triebstecken g, welche ein zweites Rad von 80 Zähnen h umtreiben, und an der Axe des letztern abermals ein Getriebe von 20 Triebstecken i, welche das letzte Rad k von 80 Zähnen umdrehn, an dessen Axe ein Zeiger befestigt ist, um auf einer getheilten Scheibe von 1 bis 40 zu zählen. Nach der Anordnung der Räder gehört jede Einheit dieser Zahlen einer ganzen Umdrehung des ersten Rads f zu und bezeichnet also einen ganzen Zoll Regenhöhe, so daſs vermittelst des Instruments 40 Zoll Regenhöhe, also mehr als im Mittel in England und an den meisten Orten des europäischen Continents in einem ganzen Jahre herabzufallen pflegt, gemessen werden kann.

Die Regulirung oder Graduirung des Instruments geschieht auf eine einfache Weise. Beträgt nämlich der Flächeninhalt des Auffangetrichters die angegebene Gröſse von 72 Quadratzoll, so verfertigt man ein genaues Maſs, dessen Inhalt einmal oder besser n mal 7,2 Kubikzoll beträgt, füllt dasselbe mit Regenwasser von mittlerer Temperatur und leert es einmal oder n mal langsam in den Trichter aus, nachdem vorläufig die Zellen des Maſsgefäſses so eingerichtet worden sind, daſs jede derselben etwas mehr als 2,4 Kubikzoll Wasser aufnehmen kann, und regulirt dann den Frictionsstab B durch Vergröſserung oder Verminderung und gehörige Stellung des Gegengewichts C genau so, daſs 7,2 Kubikzoll Wasser eine einzige Umdrehung des Maſsgefäſses bewirken. Man sieht übrigens leicht, daſs man allgemein nur nöthig habe, den zehnten Theil des in irgend einem Maſse gemessenen Flächeninhalts des Auffangetrichters in kubischem Maſse darzustellen und hiernach das Instrument zu reguliren, welches durch die willkürlich vermittelst des Gegengewichts zu erzeugende Reibung des Stabs B an den Zapfen des Maſsgefäſses leicht bewerkstelligt werden kann. Dabei kann ich jedoch dem absichtlichen Rauhmachen der Fläche dieses Stabs keinen Beifall geben, denn die rauhe Fläche muſs sich nothwendig bald glatt reiben und dadurch den Gang des Instruments unrichtig machen; ungleich zweckmäſsiger würde es dagegen seyn, den reibenden Flächen der Zapfen und des Stabs möglichst genau gerade diejenige Glätte zu geben, die sie auch beim fortdauernden Gebrauche beibehalten würden.

Das beste selbstregistrirende Hyetometer ist durch v. Hor-

KER[1] in Deutschland bekannt geworden, jedoch glaube ich kaum, daſs auſser diesem genauen Beobachter der meteorologischen Erscheinungen noch sonst jemand Gebrauch davon macht[2], auch scheint es selbst in England nicht gebräuchlich zu seyn, auſser auf der Sternwarte zu Greenwich, wo ich dasselbe zuerst kennen lernte. Die Beschreibung desselben gebe ich so, wie Kämtz[3] sie durch v. Horner selbst erhalten hat. Das Auffangegefäſs besteht aus einem gewöhnlichen Trichter von beliebig weiter, aber genau bestimmter Oeffnung, dem man leicht die oben von mir (Fig. 233.) bezeichnete Gestalt geben könnte. Aus der Röhre T desselben flieſst das Wasser in das blechene Schiffchen AB, welches durch eine von C bis auf den Boden herabgehende Scheidewand in zwei gleiche Hälften getheilt und zwischen zwei Spitzen D unterhalb seines Schwerpuncts so balancirt ist, daſs es jederzeit nach einer Seite hin herabfällt und daſs daher stets eine der beiden Hälften unter die Oeffnung des Trichters kommt. Ist aber die eine Abtheilung A so weit mit Wasser gefüllt, daſs sie das Uebergewicht und die Reibung des Räderwerks überwindet, so schlägt das Schiffchen um und bringt die andere Hälfte B unter die Oeffnung des Trichters, bis diese dann gleichfalls umschlägt. Kennt man die hierzu erforderliche Menge Wassers, so bedarf es bloſs einer Vorrichtung, um die Zahl dieser Oscillationen zu zählen und hieraus die Gesammtmenge des gefallenen Regens zu bestimmen. Hierzu dient das mit 50 schrägen Zähnen versehene Rad EE, welches bei jeder zweiten Ausleerung, oder jedem Ueberschlagen von A, durch den am Schiffchen befindlichen Haken F um einen Zahn umgedreht wird. Beim Ueberschlagen von B gleitet zwar dieser Haken leicht über die schrägen Zähne hin, allein um zu verhüten, daſs dennoch das Rad nicht wieder zurückgeschoben werde, dient der am Gestelle befestigte zweite Haken G, welcher dasselbe festhält. Die beiden krummgebogenen Drähte I und I′, deren einer der Deutlichkeit wegen in der Zeichnung abgebrochen ist, dienen dazu, das überschlagende Schiffchen

Fig. 236.

1 Schweigger's Journ. LIX. 36.

2 So eben sehe ich aus der Wiener Zeitschrift Bd. II. S. 373., daſs sich v. Jacquin desselben bedient.

3 Meteorologie. Th. II. S. 413.

zu unterstützen, damit es jederzeit bis zur erforderlichen Tieſe herabsinke.

Vermittelst eines an der Axe dieses Rads angebrachten Zeigers können auf einer auſsen am Träger des Schiffchens angebrachten getheilten Scheibe 50 doppelte oder 100 einfache Ausleerungen gezählt werden, die auch bei starkem Regen genügen. Giebt man nämlich nach v. Hornek's Berechnung dem runden Auffangetrichter 10 Zoll Durchmesser, so beträgt der Flächenraum 78,5 Quadratzoll, und wenn jede Umschlagung durch einen Kubikzoll geschieht, so würden diese für jenen Flächenraum zu ungefähr 1,25 Zoll anwachsen, d. h. es lassen sich vermittelst der Zeigerscheibe 1,25 Zoll Regenhöhe messen, die in unsern Gegenden selten innerhalb 12 Stunden herabfallen. Man kann jedoch durch Anwendung der oben beschriebenen sogenannten *Hunting Wheels*[1], ohne die Reibung zu vermehren, diese Messung um das Funfzigfache vermehren. Zu diesem Ende wird auf die nämliche Axe ein zweites, dem ersten flach anliegendes, bewegliches, mit 51 oder 49 Zähnen versehenes Rad gesteckt, welches gleichzeitig mit jenem durch den Haken F umgedreht wird und also bei jeder einmaligen ganzen Umdrehung des erstern um einen Zahn entweder zurückbleibt oder voreilt. Ist dann ein Ring in der Ebene dieses Rads mit so vielen Theilstrichen versehn, als dasselbe Zähne hat, befindet sich ferner auf der Axe der Räder ein zwar drehbarer, aber doch durch seine Reibung festsitzender Zeiger Z, und stellt man diesen gleichzeitig mit dem Zeiger des ersten Rads auf Null beider Theilungen (welches um so leichter geschehn kann, da nach Auslösung der Haken beide Räder eine willkürliche Umdrehung gestatten), so rückt der zweite Zeiger bei jeder ganzen Umdrehung des ersten Rads um einen Theilstrich vorwärts, oder bleibt um einen zurück, wonach also die Theilung nach der einen oder nach der entgegengesetzten Seite umlaufen muſs, und somit zeigt derselbe also die Hunderte der Ausleerungen, deren einzelne durch den ersten Zeiger angegeben werden. Hierdurch wird es möglich, die Regenhöhen bis zu 64 Zoll zu messen, also weiter als es irgendwo auf der Erde und selbst bei den

1 S. Art. *Rad und Getriebe.* Diesen Mechanismus erinnere ich mich nicht an dem Greenwicher Exemplare gesehn zu haben.

stärksten tropischen Regen nöthig ist; was aber die Genauigkeit der Messung betrifft, so theilt darüber v. Horner folgende Berechnung mit. Wenn angenommen wird, daſs ein Kubikzoll Regenwasser das Ueberschlagen des Schiffchens bewirkt, so machen die 100 Kubikzoll, welche durch den Zeiger des ersten Rads angegeben werden, einen Cylinder von 78,5 Zoll Basis und 1,273 Zoll Höhe, mithin beträgt jede Ausleerung 0,01273 Zoll oder 0,15 Linien. Um dann den Werth eines Grads der Eintheilung oder die eigentliche Sprache des Instruments auszumitteln, darf man nur ein Flüſsigkeitsmaſs von genau gemessener Capacität mit Wasser füllen und mehrere Male nach einander durch den Trichter in das Schiffchen ausgieſsen, um die entsprechenden Angaben des Zeigers damit zu vergleichen, eine Operation, die man öfter wiederholen muſs, um zu sehn, ob etwa vermehrte Reibung eine Aenderung der festgesetzten Normalgröſse verursacht habe.

Ein geübter Künstler könnte jedoch ohne allzugroſse Schwierigkeiten dieses sinnreich ausgedachte Instrument von folgender, noch gröſsere Genauigkeit und Bequemlichkeit darbietender Einrichtung verfertigen. Beim Messen der Regenhöhen erreicht man sicher eine genügende Genauigkeit, wenn man dieselbe bis zu 0,1 Lin. treibt, und so wäre es dann auch am besten, diese als die Normalgröſse anzunehmen, die durch den Zeiger angegeben wird. Hiernach müſste zuerst das Rad 60 Zähne haben, wenn man nach Zehntel-Linien und ganzen Linien zählend zu Zollen übergehn wollte und jeder Zahn 0,1 Linie zugehören soll. Um die geringe Ungewiſsheit zu beseitigen, die daraus entsteht, daſs nach der ursprünglichen Einrichtung erst beim zweiten Umschlagen des Schiffchens das Rad um einen Zahn weiter rückt, darf man nur auf der Axe des Schiffchens an beiden Seiten desselben zwei Stifte anbringen, den einen aufwärts, den andern herabwärts gerichtet und jeden mit einem Haken versehn, so wird bei jedem Umschlagen des Schiffchens ein Zahn weiter rücken und der Zeiger des Rads eine Einheit weiter zeigen, bis zu 60 Zehntel Linien oder einem halben Zoll, wonach dann der Zeiger des zweiten Rads mit 61 Zähnen von halben zu halben Zollen fortrückend bis 30 Zoll zählen würde. Soll dann das Umschlagen des Schiffchens gerade durch einen Kubikzoll Wasser bewirkt werden und dieser zugleich 0,1 Lin.

Digitized by Google

der Höhe desjenigen Cylinders ausmachen, welcher im Auffangetrichter gebildet werden würde, so müſste die Weite seiner Oeffnung 12,36077... Zoll Durchmesser haben, wie sie durch einen geübten Künstler allerdings bis auf 0,01 Lin. vollkommen dargestellt werden kann. Inzwischen läſst sich auch das umgekehrte Verfahren in Anwendung bringen, indem die Oeffnung des Auffangetrichters der angegebenen Gröſse möglichst gleich hergestellt, dann ihr Durchmesser scharf gemessen, und hieraus der kubische Inhalt des Regenwassers von der mittlern Jahrestemperatur durch Rechnung gefunden wird, welcher ein Umschlagen des Schiffchens bewirkt. Um letzteres hiernach einzurichten, bedarf es bloſs eines oder zweier Balanciere, jeden mit einer Kugel versehn, welche höher oder niedriger geschraubt und durch eine Preſsschraube festgestellt werden kann, so daſs das Umschlagen jederzeit genau durch die erforderliche Menge des Wassers erfolgt.

Verschiedene anderweitige Regeln dürfen bei der Construction dieses Instruments nicht unbeachtet bleiben, wenn man den erforderlichen Grad von Genauigkeit sicher erreichen will. Dahin gehört die Bedingung, daſs die Oeffnung des Trichters klein und die Bewegung des Schiffchens beim Umschlagen nicht zu groſs ist, damit nach erzeugtem Uebergewichte nicht noch mehr Wasser hinzuläuft, dessen Menge sonst der Stärke des Regenschauers proportional seyn und hiernach die Messung in gleichem Verhältnisse unrichtig machen würde. Zum Theil wird diesem dadurch abgeholfen, daſs nach begonnener Ueberwucht das Wasser nach dem Ende des Schiffchens hinflieſst, dadurch ein gröſseres statisches Moment erhält und das Umschlagen beschleunigt. Ferner bemerkt v. Horner sehr richtig, daſs der Haken etwas über den eigentlichen Zahn, etwa bis in die Mitte des folgenden, übergreifen muſs, damit nicht sogleich beim Anfange des Ueberschlagens die Bewegung durch das Zurückziehn des Rads gehindert wird, zu welchem Ende auch die Oeffnung im Haken, in welche der Hebelarm an der Axe des Schiffchens eingreift, welcher den Haken zurückzieht, länglich gemacht werden kann, damit jener anfangs einen todten Gang hat und erst zuletzt den Haken zurückzieht oder vorwärts schiebt. Das Schiffchen muſs höchst leicht balancirt seyn, und daher läuft seine Axe in Spitzen aus oder könnte auch sehr fein

gemacht und auf Frictionsrollen gelegt werden. Das Schiffchen von Blech ist nach v. Horner etwa 5 bis 6 Zoll lang, 2 Zoll breit und in der Mitte ungefähr 1¼ Zoll hoch, seine Form aber cylindrisch concav, weil auf einem flachen Boden der Erfahrung nach leicht eine Wasserschicht von der Dicke bis zu einer Linie zurückbleibt, die als Gegengewicht das Umschlagen erschwert. Am besten wird die ganze Maschine, die auf einer geeigneten festen Unterlage befestigt und mit einem durchlöcherten Boden zum Ablaufen des Wassers versehn seyn muſs, in einen geeigneten Kasten eingeschlossen, den man mit einem Glase zum Durchsehn oder wohl besser mit einer Thür verschlieſst und überhaupt so einrichtet, daſs er den Einflüssen der Witterung widersteht; auch kann man demselben eine äuſsere elegante Form geben, so daſs das Instrument einem Garten selbst zur Zierde dient.

Beide zuletzt beschriebene Regenmesser sind so zweckmäſsig eingerichtet, daſs man kaum zur Entscheidung gelangt, welchem von ihnen der Vorzug gebührt. Nach der Beschreibung scheint die Regulirung und Graduirung des Taylor'schen leichter zu seyn, allein man sieht bald, daſs man diese, wie ich bereits oben angedeutet habe, auch auf das Horner'sche übertragen kann, jedoch ist diese Methode dort absichtlich nur im Allgemeinen angegeben. Beide haben den groſsen Vorzug, daſs man zu jeder Zeit nachsehn und die Regenhöhen ablesen kann, wobei sich von selbst versteht, daſs die Zeiger verschiebbar eingerichtet (bloſs aufgesteckt) seyn müssen, damit man sie jederzeit auf 0 stellen kann, um von jeder beliebigen Zeit an die Messung zu beginnen[1]; beide können leicht regulirt werden, wenn man die von mir vorgeschlagenen Balanciere beim Horner'schen anbringt; beide lassen sich auf gleiche Weise elegant darstellen und mögen sich selbst hinsichtlich des Preises wohl gleich seyn. Beide haben aber den Nachtheil, daſs ihr Mechanismus sehr fein ist, und wenn man sie daher gegen den Einfluſs der Witterung auch möglichst geschützt hat, so ist doch unvermeidlich, daſs die feuchte Luft nicht zu den

---

1 Dieses scheint mir, als das leichtere Mittel, nicht überflüssig, obgleich die Zeiger auch, wie oben bemerkt ist, durch Ausheben der Haken und Umdrehn der Räder willkürlich gestellt werden können.

Digitized by Google

feinen Zapfen dringen und auf diese nachtheilig wirken sollte. Taylor will daher die Anwendung des Stahls wegen des Rostens gänzlich ausschlieſsen, vielmehr sollen die feinern Theile von Silber und Platin, das Gehäuse aber von Zinn gemacht seyn. Inzwischen glaube ich, daſs man dem nachtheiligen Einflusse der Feuchtigkeit begegnen könne, wenn man die dickern Axen, in denen die feinen Stahlspitzen befestigt sind, nahe an die Flächen der Träger bringt und in diesen die Löcher bloſs einbohrt, ohne sie durchgehn zu lassen. Zugleich muſs auf jeden Fall dafür gesorgt seyn, daſs das aus dem Schiffchen oder dem Maſsgefäſse abflieſsende Wasser nicht spritzen kann, und auſserdem ist es gewiſs vortheilhaft, unter dem Instrumente im Boden eine Vertiefung zur Aufnahme des Wassers anzubringen, die äuſseren Ränder oder Wandungen aber unten bis auf den Boden zu vertiefen, damit der Wind nicht eindringt und den Staub zwischen die Maschinentheile treibt.

Wenn man indeſs beide Apparate sorgfältig prüfend mit einander vergleicht, so wird man bald einige überwiegende Vorzüge beim Horner'schen Apparate entdecken. Diese sind zuerst ein weiterer Umfang und gröſsere Feinheit, indem es von 0,1 Linie bis 30 Zoll zählt, statt daſs das Taylor'sche erst mit 0,1 Zoll und nicht völlig genau mit $\frac{1}{10}$tel Zoll anfängt. Es scheint zwar, als dürfe man auch bei diesem nur die Quantität des die Bewegung erzeugenden Wassers vermindern, um einen gleichen Grad der Feinheit zu erlangen; allein da bei jenem die Reibung möglichst vermieden wird, bei diesem dagegen eine nothwendige Bedingung ist, so kann es niemals möglich werden, beide auch bei der sorgfältigsten Ausführung auf einen gleichen Grad der Feinheit zu bringen. Zudem muſs bei beiden die Menge des Wassers, welche die Bewegung erzeugt, in einem gewissen Verhältnisse zu den bewegten Maschinentheilen stehn, und in dieser Beziehung ist es unverkennbar, daſs eine weit geringere Wassermenge das Schiffchen zum Umschlagen bringen und daſs letzteres weit leichter durch den hierdurch erhaltenen Schwung das Rad zurückziehn kann, als diejenige Wassermenge seyn darf, welche das Maſsgefäſs zusammt dem Räderwerke umtreibt und noch obendrein die Reibung überwindet; denn wollte man alle diese Theile von geringem Gewichte und leicht beweglich machen,

was bei dem auf jeden Fall aus Metallblech verfertigten Meſsgefäſse ohnehin seine Grenzen hat, so würde letzteres nach begonnener Drehung um so mehr in Schwung gerathen und über die Grenze der erforderlichen einen Abtheilung hinausgehn, als das aufgenommene Wasser bei anfangender Umdrehung sich weiter vom Unterstützungspuncte entfernt und dadurch ein gröſseres mechanisches Moment erhält. Das Horner'sche Instrument hat auſserdem einen Vorzug darin, daſs das Ausgieſsen an beiden Seiten an einer bestimmten Stelle erfolgt und ganz beendigt ist, wenn das Schiffchen wieder nach der entgegengesetzten Seite umzuschlagen beginnt. Es scheint mir daher eine nicht unwesentliche Verbesserung zu seyn, wenn man an jeder Seite des Schiffchens eine Röhre mit einem Trichter als Ablaufcanal anbringt, welcher zugleich statt der Stäbe zur Unterstützung des Schiffchens dienen kann und wodurch der übrige Raum des Kastens bis auf die gewöhnliche Feuchtigkeit der Luft trocken erhalten wird, was dann viel zur längern Dauer der feinern Maschinentheile beiträgt. Bei dem Taylor'schen Apparate läſst sich eine solche Vorrichtung nicht treffen, vielmehr erfolgt das Ausflieſsen in einer längern Zeit, über einem gröſsern Raume und bei fortgehender Drehung, ja es ist dabei zugleich unvermeidlich, daſs nicht das in den Zellen zusammenflieſsende Wasser auch noch dann herabträufeln sollte, wenn die Ausguſsöffnung bereits eine beträchtliche Höhe erreicht hat, wodurch dann der ganze innere Raum mit Feuchtigkeit erfüllt wird. Beide Vorrichtungen bieten noch eine Schwierigkeit dar, die unter Umständen einige Unrichtigkeit der Messung zur Folge haben kann. Bei heftigen Regenschauern nämlich, wenn fortwährend eine beträchtliche Menge Wasser durch die untere Oeffnung des Auffangetrichters abflieſst, wird noch ein Theil in diejenige Zelle gelangen, welche bereits ein Uebergewicht erhalten hat. Dieses Hinderniſs kann beim Horner'schen Hyetometer fast gänzlich beseitigt werden, wenn man die Zeit, während welcher das Scheideblech unter der Oeffnung hin und her bewegt wird, auf ein Minimum herabbringt. Zu diesem Ende, und um zugleich den Ausguſs des Schiffchens weit genug von den Maschinentheilen zu entfernen, würde ich vorschlagen, dem Schiffchen im Ganzen eine Länge von 10 Zoll zu geben, also einer jeden Seite 5 Zoll. Erheben sich die Enden dann

von der Mitte an gerechnet um 1 Zoll über die horizontale Ebene und durchlaufen sie bei jeder Schwankung einen Bogen von 2 Zoll, so bedarf das Scheideblech in der Mitte bloſs die Höhe von 1 Zoll, indem das in ihnen enthaltene Wasserprisma von 0,5 Zoll Höhe und 2,5 Zoll Länge völlig genügt, um das zur Schwankung erforderliche Uebergewicht zu erzeugen. Fällt dann die geometrische Axe der Spitzen oder kleinen Zapfen, worauf das Schiff balancirt ist, mit derjenigen horizontalen Linie zusammen, in welcher (auch bei einem unten cylinderförmig eingebogenen Schiffchen) der unterste Theil des Scheideblechs den Boden des Schiffchens berührt, so durchläuft der obere Rand des Scheideblechs einen Bogen von $2 \times \frac{1}{5}$ oder $\frac{2}{5}$, also nicht einmal einem halben Zoll. Man wird also wohlthun, die untere Oeffnung des Auffangetrichters nur 0,2 Zoll breit, dagegen aber 1 bis 2 Zoll lang zu machen und dicht über das Scheideblech herabzudrücken, damit das herabflieſsende Wasser schnell aus der einen Zelle in die andere übergeht. Beim Taylor'schen Regenmaſse läſst sich diese Schwierigkeit keineswegs auf gleiche Weise beseitigen, vielmehr wird bei demselben während der Umdrehung das aus der Trichteröffnung flieſsende Wasser auf den Rand der folgenden Zelle fallen und von da aus zum Theil in die nächst untere Zelle ablaufen, zum Theil aber auch umherspritzen und für die Messung ganz verloren gehn, nicht zu gedenken daſs eine hierdurch erzeugte Benetzung der innern Maschinentheile ganz unvermeidlich ist.

Es schien mir nicht unpassend, eine genaue und ins Einzelne eingehende Prüfung der Leistungen anzustellen, die man von den verschiedenen Hyetometern erwarten darf, und die bequemsten und sichersten derselben genau zu beschreiben, da die im Art. *Regen* angestellten Untersuchungen genügend darthun, wie wichtig es für die Meteorologie seyn würde, eine gröſsere Zahl zuverlässiger Messungen der den verschiedenen Orten zugehörigen jährlichen Regenmengen zu erhalten, als wir bis jetzt besitzen.

M.

Digitized by Google

Regulator.

Moderator; Régulateur; *Regulator*. So nennt man alle diejenigen Theile einer Maschine, welche, zuweilen für sich bestehende Maschinen bildend, dazu bestimmt sind, erstern einen bestimmten, meistens einen gleichbleibenden Gang zu ertheilen. Es giebt deren eine groſse Menge, welche nur in den wenigsten Fällen mit jenem Namen benannt werden, da sie meistens noch eine andere Bestimmung haben und ihre Bezeichnung von letzterer oder von einer andern wesentlichen Eigenschaft erhalten. Unter die Regulatoren gehört demnach hauptsächlich das *Schwungrad*[1], desgleichen das *Uhrpendel*, mithin auch die *Unruhe* der Taschenuhren, Borgnis[2] rechnet ferner dahin die Regulatoren der Walzenwerke, vermittelst deren die Walzen einander auf ungleiche Entfernungen genähert werden, ohne ihren Parallelismus zu verändern. Auf gleiche Weise giebt es verschiedene Regulatoren der Gebläse, um einen unveränderlichen Druck der Gase und dadurch gleichmäſsige Ausströmungsgeschwindigkeiten derselben zu erhalten[3]. Dahin gehören ferner die *excentrischen Scheiben*, welche verschiedenartige Krümmungen haben können, die *Schnecken*, sowohl in den Taschenuhren als auch bei sonstigen Maschinen, namentlich den Göpeln zur Regulirung des Gewichts der zunehmend verlängerten herabhängenden Ketten. Hiervon abweichend giebt Hachette[4] diesen Namen auch dem durch Murray[5] angegebenen *Manometer*, vermittelst dessen die Stärke des Drucks bei der hydraulischen Presse gemessen wird.

Vorzugsweise gebräuchlich und auch am meisten zu em-

---

1 Ausführlich über die Construction und die Wirkungen der Schwungräder handelt Navier im 1sten Theile von Belidor Architecture hydraulique Nouv. ed. IV. T. 4.

2 Traité complet de Mécanique. Machines employées dans diverses fabrications. p. 246.

3 Ebend. p. 44. u. Composition des Mach. p. 390. Vergl. Ann. des Arts et Manufactures T. XXV. p. 118.

4 Traité élém. des Machines. p. 208.

5 Bulletin de la Soc. d'Encour. 1816. N. 139.

pfehlen ist der *Centrifugalregulator*, welchen die Engländer schlechtweg Regulator oder *Governor* nennen und wovon vermuthlich Watt zuerst bei seinen Dampfmaschinen Gebrauch gemacht zu haben scheint. Derselbe ist bereits oben[1] gelegentlich erwähnt worden, verdient aber hier nochmals genauer beschrieben zu werden, da man so häufig bei Mühlen und sonstigen Gewerken, insbesondere bei Dampfmaschinen, Gebrauch davon zu machen pflegt. Nach der gewöhnlichen Einrichtung besteht er aus einer verticalen Spindel, welche um zwei
Fig. 237. Zapfen DD durch eine um die Rolle W geschlungene endlose Schnur oder einen Riemen gedreht wird. Die beiden Kugeln B, B sind an zwei um einen Zapfen in einer verticalen Ebene beweglichen Stangen befestigt, deren kürzere Arme EF, EF zwei andere Arme FH, FH in Bewegung setzen und vermittelst derselben den Ring HH auf der verticalen Stange auf- und abwärts schieben. An diesem Ringe ist der eine Arm des um den Zapfen G beweglichen Hebels IK befestigt, dessen anderer Arm die zur Regulirung der Maschine dienende Stange trägt. Befindet sich der Regulator in Ruhe, so sinken die Kugeln durch ihr Gewicht bis an die Stange herab, wird er aber zugleich mit den übrigen Maschinentheilen in Bewegung gesetzt, so entfernen sie sich durch die erzeugte Schwungkraft stets weiter von der Stange, je mehr die Geschwindigkeit der Umdrehung zunimmt. Geht ihre Höhe über eine gewisse Grenze hinaus, so schlieſst bei den Dampfmaschinen die am Hebelarme K befestigte Stange das Dampfrohr, damit weniger Dampf zuströme, oder öffnet ein Ventil, um die Kraft des Dampfs zu mindern, oder verschlieſst der zum Feuer strömenden Luft den Zutritt, um die Hitze zu mindern, oder hängt endlich mehrere zu betreibende Maschinentheile ein, um auch diese durch die genügend vorhandene Kraft arbeiten zu lassen. Letzteres geschieht auch häufig bei den verschiedenen Arten von Mühlen, bei denen seine Bestimmung sonst eigentlich darin besteht, durch Aufziehn und Herablassen der Schütze oder einer angebrachten Hülfs-Schütze die Geschwindigkeit des Wasserrads zu reguliren und nicht zu sehr über das erforderliche Mittel steigen zu lassen. Nach

1 S. Art. *Dampfmaschine*. Bd. II. S. 431. Daselbst ist er auch in Fig. 136. u. 137. gezeichnet.

Digitized by Google

Egen[1] wird zuweilen ein Arbeiter angestellt, welcher die Schützen nach der Höhe der Kugeln des Regulators mehr oder weniger öffnet, was insbesondere bei solchen Mühlrädern räthlich ist, deren Schützen für den Regulator zu schwer sind und bei denen dennoch ein stets gleichmäſsiger Gang wegen der zu fördernden Arbeiten, z. B. bei Drahtziehereien, sehr nothwendig ist.

Der genannte Regulator ist seinem Wesen nach ein doppeltes Centrifugalpendel, wobei man mit einer für den vorliegenden Zweck hinreichenden Genauigkeit den Einfluſs der Arme HFE vernachlässigen, das Centrum Oscillationis in den Mittelpunct der Kugeln setzen und also die Länge des Pendels vom Aufhängepuncte E bis zum Mittelpuncte der Kugel B annehmen kann. Heiſst diese dann l, so ist für dieses Pendel[2] die Zeit eines Umlaufs in Sexagesimalsecunden t

$$t = \pi \sqrt{\frac{2l}{g}},$$

und da hierin der Fallraum g in einer Secunde füglich zu 15 par. Fuſs angenommen werden kann, so ist für $\pi = 3{,}14159\ldots$

$$t = 1{,}1471 \sqrt{l} \text{ in Secunden.}$$

Es folgt ferner aus den Gesetzen des Pendels, daſs bei der Gleichheit des Sinus und des Cosinus des Elongationswinkels die Schwungkraft und die Schwere der Kugeln gleich sind, mithin wird für diesen Winkel $= 45°$ das ganze Gewicht der Kugeln aufgehoben. Ferner ist oben gefunden worden, daſs das Centrifugalpendel doppelt so viele Zeit zur Vollendung eines Umlaufs bedarf, als das gewöhnliche Pendel für eine ganze Schwingung, und da für Pendel $t^2 : t'^2 = l : l'$, so folgt, daſs das konische Pendel nur den vierten Theil der Länge des gewöhnlichen Pendels haben müsse, wenn beide isochronisch schwingen sollen. Ist demnach die Länge des einfachen Secundenpendels $= 440{,}429754$ Lin. oder $= 3{,}05854$ Fuſs[3], so beträgt die des konischen Secundenpendels 0,764635

---

1 Untersuchungen über den Effect einiger in Rheinland-Westphalen bestehenden Wasserwerke. Berl. 1831. 4. S. 136.

2 S. oben S. 397.

3 Vergl. oben S. 374. Setzt man in die gegebene Formel $t = 1$ und sucht den Werth für l, so erhält man $l = 0{,}76$ Fuſs. Der ge-

Digitized by Google

Fuſs für den Abstand vom Aufhängepuncte bis zum Centrum Oscillationis. Dieses setzt aber eine schwere Kugel an einem nicht schweren Faden und Schwingungen in sehr kleinen Kreisen voraus; hängt dagegen die Kugel an einer schweren Stange, so rückt dadurch das Centrum Oscillationis höher hinauf und das Pendel muſs länger werden, wenn die Schwingungszeit un-unverändert bleiben soll. Für die Praxis würde es leicht seyn, die erforderliche Länge des physischen Pendels für eine gegebene Geschwindigkeit empirisch mit hinlänglicher Genauigkeit zu finden, wenn man dasselbe als gewöhnliches Pendel schwingen lieſse und es so herstellte, daſs diese Schwingungen die Hälfte der erforderlichen Zeitdauer erreichten. Die Dauer der Schwingungszeiten wird aber stets abnehmen, so wie die Kugeln einen gröſsern Elongationswinkel erhalten, und die Länge der Pendelstangen muſs daher wachsen, wenn ihre Geschwindigkeit bei gröſserem Abstande der Kugeln von der verticalen Spindel gleichbleiben soll, und zwar im Verhältnisse der Abnahme des Cosinus des Elongationswinkels. Soll letzterer daher 45° betragen, so betrüge die gefundene Länge des konischen Secundenpendels $\frac{0{,}76}{\cos.\ 45^\circ} = 1{,}075$ par. Fuſs. Man wird also eine für die Anlage einer Maschine hinlängliche Genauigkeit erhalten, wenn man die Kugel an ihrer Stange schwingen läſst, dieses Pendel so regulirt, daſs seine Schwingungen die Hälfte der Zeitdauer erlangen, in welcher der Regulator eine Umdrehung vollenden soll, und dann diese uncorrigirte Länge L in die corrigirte $L' = L\,\frac{1}{\cos.\ \alpha}$ verwandelt, wobei α denjenigen Winkel bezeichnet, welchen die Stange der Kugel mit der Spindel des Regulators bildet.

Bei der mittlern Geschwindigkeit der Umdrehungen des Regulators und dem dieser proportionalen Winkel übt derselbe keinen Einfluſs auf die Maschinentheile aus, wohl aber sobald jene wächst oder abnimmt, wobei die Wirkungen desselben einander entgegengesetzt sind. Das Gewicht der Kugeln muſs derjenigen Kraft proportional seyn, welche zur Erzeugung der Veränderungen erforderlich ist, die sie bei den Maschinen-

---

ringe Unterschied entsteht dadurch, daſs g etwas zu gering genommen ist.

theilen hervorbringen sollen, und hiernach giebt Egen daſselbe für Waſserwerke zu 60 bis 80 Pfund an. Dennoch sind sie auch dann oft nicht im Stande, die schweren Schützen groſser Räder aufzuziehn oder herabzudrücken, vielmehr geschieht dieses durch das Waſserrad selbst, mit dem die Regulatoren einen hierzu geeigneten Mechanismus kuppeln. Bei Dampfmaschinen geschieht die Regulirung wohl ohne Ausnahme unmittelbar[1].

Es sind noch verschiedene andere Regulatoren in Vorschlag gebracht worden, sie stehn aber meistens dem eben beschriebenen hinsichtlich der Dauerhaftigkeit und Zweckmäſsigkeit nach. Preuss unter andern schlug vor, die Dampfklappe vermittelst eines Schwimmers in einer Cisterne, woraus der Dampfkessel gespeist wird, zu reguliren, indem der Schwimmer durch den ungleichen Stand des Waſsers in der Cisterne steigen oder sinken sollte[2]. Bei Waſserwerken soll das Mühlrad zugleich vermittelst einer kleinen Pumpe Waſser in eine solche Cisterne heben, welches durch eine ungleich erweiterte Oeffnung wieder abflieſst und beim schnellern Gange des Rads, mithin auch der Pumpe, steigt, beim langsamern dagegen fällt und hiernach also den Schwimmer hebt oder sinken läſst; allein Egen verwirft diesen Vorschlag. Weiss hat einen Regulator erfunden und praktisch in Anwendung gebracht, wofür ihm vom Preuſsischen Gewerbvereine die silberne Medaille ertheilt wurde. Derselbe besteht aus einer Pendeluhr, welche durch ein Gewicht in Bewegung erhalten wird. Letzteres steht mit dem Mühlrade in Verbindung und wird durch dieses bei seinem normalen Gange um eben soviel wieder gehoben, als es herabsinkt, muſs aber bei verminderter Geschwindigkeit desselben tiefer sinken, bei vermehrter höher steigen, und dient dann in beiden Fällen unmittelbar dazu, die Schütze mehr oder weniger aufzuziehn und somit die Geschwindigkeit des Waſserrads zu reguliren. Ein durch Arthur Woolf vorgeschlagner Regulator[3], welcher die Menge

1 Ueber die Regulatoren für Waſserwerke s. Buchanan Practical Essays on Millwork. T. II. p. 177.

2 Phil. Mag. 1823. Oct. H. Weber Beiträge zur Gewerbe- und Handelskunde. Berl. 1825. Th. I. S. 116.

3 Nicholson's Journal. T. VI. p. 249. Daraus in G. XXI. 456.

des ausströmenden Dampfs zugleich miſst und regulirt, ist ohne Zeichnung nicht wohl verständlich und schwerlich viel in Anwendung gebracht worden. *M.*

Reibung.

Friction; *Frictio*, *Affrictus*, *Attritus*[1]; Frottement; *Friction*; ist der Widerstand, welchen ein fester Körper leidet, indem seine Oberfläche sich auf oder an der Oberfläche eines andern Körpers fortbewegt. Wir reiben einen Körper an dem andern, wenn wir mit einem Drucke gegen die Oberfläche des zweiten den ersten fortbewegen; bei diesem Reiben greifen die rauhen Theile beider Oberflächen in einander und widerstehn daher der Bewegung; sind die Theile der Körper nur von schwachem Zusammenhange, so werden sie *zerrieben*, das heiſst, die Theile trennen sich und fallen als Pulver oder Staub ab; jedoch ist nicht dieser Erfolg, sondern nur der Widerstand gegen die Bewegung der Gegenstand, den wir hier betrachten. Ein vollkommen glatter und vollkommen harter Körper würde an seiner Oberfläche gar keine Reibung darbieten, Rauhheit dagegen ist die eine Ursache der Reibung und Mangel an Härte, da die Oberfläche dem Drucke nachgiebt und auf diese Weise Unebenheiten entstehn, eine zweite Ursache.

Die Reibung ist gröſser, wenn eine Oberfläche über die andre fortgezogen, als wenn sie über ihr fortgewälzt wird, und man unterscheidet die *gleitende Reibung* von der *rollenden* oder *wälzenden Reibung*; bei jener muſs jedes Theilchen des bewegten Körpers sich von dem es zurückhaltenden Theilchen des unbewegten Körpers losreiſsen, bei dieser hingegen wird ein neues Theilchen des bewegten Körpers zur Berührung gebracht und das durch die Rauhheit der Unterlage festgehaltene Theilchen mehr gehoben als fortgeschleift, woraus dann leicht der geringere Grad von Reibung erklärt wird.

Die Reibung hängt so sehr von der zufälligen Beschaffenheit der Oberflächen ab, daſs über ihre absolute Gröſse fast

---

1 Euler unterscheidet sehr richtig zwischen *frictio* und *attritus*; *frictio ex attritu nata*, also Reibungswiderstand (*frictio*) als Erfolg des *attritus*.

gar keine allgemeinen Beſtimmungen möglich sind; in Beziehung auf die relative Gröſse gilt, wenn immer dieselben Reibungsflächen angewandt werden, sehr nahe die Regel, daſs die Reibung der drückenden Kraft, welche die Oberflächen senkrecht gegen einander preſst, proportional ist und dagegen von der Gröſse der Fläche nur wenig abhängt. Der Grund dieser Regel läſst sich insofern wohl einsehn, als bei vermehrter Reibungsfläche zwar die Anzahl der in einander greifenden Rauhheiten oder der Theilchen, die der Bewegung Hindernisse entgegensetzen, gröſser wird, aber auch jedes Theilchen mit geringerer Gewalt zwischen die hindernden Rauhheiten hineingepreſst wird, wenn der Druck im Ganzen derselbe bleibt und sich also auf desto mehr einzelne Theilchen vertheilt, je gröſser die Oberfläche ist, auf welcher die Reibung statt findet.

In dem Widerstande, welchen zwei über einander fortbewegte Oberflächen fester Körper leiden, vereinigen sich eigentlich zwei Umstände, die abgesondert betrachtet werden sollten, die Adhäsion der beiden Oberflächen an einander und die eigentliche Reibung, die durch die Rauhheiten der Oberflächen hervorgebracht wird. Jene hängt von der Gröſse der Oberflächen ab und ist bei Flächen, die man mit Fett, Seife oder ähnlichen Körpern bestrichen hat, erheblich groſs, so daſs, während diese Körper die eigentliche Reibung vermindern, sie doch den Zusammenhang beider Oberflächen vermehren. Hierbei finden so viele Verschiedenheiten statt, daſs sich allgemeine Regeln gar nicht geben lassen, indem zum Beispiel Metalle mit fetten Materien bestrichen geringere Reibung leiden, aber doch bei längerer Einwirkung des Oels auf die Oberfläche oft diese angegriffen wird und die zum Bestreichen angewandten Theile nun zäh und hindernd werden. Diese Bemerkungen gelten für alle verschiedenen Arten der Reibung.

I. Gleitende Reibung.

Diese findet überall da statt, wo die Theile der einen Oberfläche parallel mit der andern Oberfläche fortbewegt werden sollen, also auch da, wo ein Zapfen sich in einem Zapfenlager dreht, indem auch da der berührende Punct auf der

Digitized by Google

Oberfläche, auf welcher er ruht, fortgezogen, nicht von ihr abwärts gehoben wird, auf die Weiſe, wie es beim Fortwälzen geschieht.

Da man die Regel, daſs die Reibung dem Drucke proportional iſt, wenn die Beschaffenheit der beiden Reibungsflächen dieſelbe bleibt, als ziemlich nahe richtig anſehn kann, ſo iſt die Hauptfrage, die man zu beantworten geſucht hat, welchen Theil des Drucks man als der Reibung gleich finde. Der Bruch, mit welchem man das drückende Gewicht multipliciren muſs, um die Reibung zu finden, heiſst der Reibungscoefficient.

Dieſer ſollte demnach, wenn die Reibung ſtreng dem Drucke proportional wäre, bei gleichen an einander reibenden Körpern ſtets gleich hervorgehn, die Belaſtung möchte gröſser oder kleiner ſeyn; aber Coulomb bemerkt, daſs dieſes nur bei ſtärkerem Drucke ziemlich nahe richtig iſt, wogegen bei ſchwächerem Drucke die Gröſse der Fläche etwas mehr in Betrachtung komme. Es ſind hier indeſs mehrere Umſtände, die eine genaue Beſtimmung gänzlich hindern, indem auf die ſorgfältige Bearbeitung der angewandten Flächen ſo ſehr viel ankommt und ſelbſt ein längere Zeit dauernder Druck die Oberflächen mehr in einander preſst.

Nur durch Verſuche läſst ſich der Reibungscoefficient finden und dieſe Verſuche hat man auf mehrerlei Weiſe angeſtellt. Die einfachſte Methode iſt, die Kraft zu beſtimmen, mit welcher ein auf einer genau horizontalen Ebene liegender Körper von beſtimmtem Gewichte fortgezogen werden kann. Fig. 238. Bedient man ſich dabei einer Rolle C, um den Körper A nach einer genau mit der horizontalen Ebene DE parallelen Richtung fortzuziehn, ſo würde das Gewicht B genau die abſolute Gröſse der Reibung angeben, wenn das Seil an der Rolle und die Axe der Rolle an ihrer Unterlage nicht ebenfalls eine Reibung erlitten; dieſe müſste daher durch einen beſondern Verſuch erſt beſtimmt werden, um ein reines Reſultat für die Reibung, die A an DE leidet, zu erhalten. Um die Rückſicht auf die Rolle ganz wegſchaffen zu können, wäre es am beſten, zwiſchen A und C eine Federwaage einzuſpannen, die, vorher genau berichtigt, durch ihre Scale die Spannung des Seils AC angäbe.

Amontons und Leupold haben ihre Verſuche auf dieſe

Weise angestellt[1], und auch Coulomb hat ein ähnliches Verfahren beobachtet, aber zugleich den Unterschied beachtet, den man für den ersten Anfang der Bewegung und für die schon eingetretene Bewegung findet. Wenn man die ziehende Kraft bis zu einem solchen Grade vermehrt, daſs nur noch wenig fehlt, um die ruhende Last in Bewegung zu setzen, so bringt die geringste Erschütterung der Unterlage die Last wirklich in Bewegung. Indem nämlich bei der Erschütterung sich die aufliegende Last um etwas weniges hebt, so ist sie von den Hindernissen der Reibung freier und fängt an dem Zuge der Kraft zu folgen; sehr oft dauert dann die angefangene Bewegung fort, weil die Theilchen nicht mehr Zeit finden, sich wieder so fest in einander zu passen, wie es bei dauernder Ruhe der Fall gewesen war. Diese Wirkung der Erschütterung ist auch bei den übrigen Methoden, die Reibung zu bestimmen, auf ähnliche Weise wirksam, und man bedient sich derselben auch sonst da, wo eine geringe Kraft die Reibung überwinden soll, z. B. wenn die magnetische Kraft einer Nadel zu schwach ist, um die Reibung zu überwinden, so erhält man durch eine leise Erschütterung eine richtige Stellung der Nadel.

Wenn man einem Körper, der auf einer horizontalen Ebene fortgezogen wird, eine Geschwindigkeit ertheilt, so bleibt die Bewegung gleichförmig, wenn die ziehende Kraft genau der Reibung gleich ist, und die Beobachtung der durchlaufenen Räume, aus denen sich die Gleichförmigkeit der Bewegung ergiebt, dient also um zu finden, ob die ziehende Kraft genau der Reibung gleich ist. Coulomb hat bei seinen Versuchen hierauf seine Aufmerksamkeit gerichtet.

Eine zweite Methode, die Reibung zu bestimmen, bietet die geneigte Ebene dar. Wäre keine Reibung, so würde ein Körper auf jeder Ebene, wenn sie auch sehr wenig geneigt wäre, sobald sie nur von der horizontalen abwiche, herabgleiten; aber es ist bekannt, daſs in vielen Fällen der Neigungswinkel sehr bedeutend seyn kann, ehe das Herabgleiten anfängt. Wenn man durch eine sehr leise Hebung den Nei-

1 Mém. de l'Acad. de Paris. 1699. 104. Leupold Theatr. mach. gen. Cap. 16.

gungswinkel allmälig vergröſsert und genau die Gröſse desselben $= \alpha$ wahrnimmt, bei welcher die herabwärtstreibende Kraft die Reibung überwindet, so ist Tang. α der Reibungscoefficient. Es wäre nämlich eine mit der geneigten Ebene parallel wirkende Kraft $=$ P. Sin. α erforderlich, um die Last $=$ P auf der so geneigten Ebene durch einen mit ihr parallelen Zug zu erhalten, und diese hält bei dem Grade der Neigung, wo das Herabgleiten im Begriffe ist anzufangen, der Reibung das Gleichgewicht. Diese Reibung ist aber dem gegen die Ebene senkrechten Drucke $=$ P. Cos. α proportional, also $=$ f. P. Cos. α, wenn f der Reibungscoefficient ist; man hat daher f. P. Cos. $\alpha =$ P. Sin. α oder f $=$ Tang α.

Eine dritte Methode, die Gröſse der Reibung zu bestimmen, ist besonders zweckmäſsig, wenn man die Reibung der
Fig. Zapfen in ihren Lagern zu wissen verlangt. Es sey A eine
239. cylindrische Welle, die auf dem ihr genau concentrischen Zapfen B ruht, so sollte, wenn man auch sehr groſse Gewichte P $=$ P anhängt, die sich vermittelst eines über die Welle laufenden Seils das Gleichgewicht halten, das allerkleinste dem einen Gewichte hinzugefügte Uebergewicht zureichen, um eine Bewegung hervorzubringen; aber die Reibung fordert schon ein erhebliches Uebergewicht, um überwunden zu werden. Musschenbroeck hat seine Versuche zum Theil mit diesem Instrumente, das er *Tribometer* nennt (von *τρίβω*, ich reibe), angestellt. Offenbar kommt hier das *Moment der Reibung* in Betrachtung, und wenn das Uebergewicht $=$ Q an der Welle vom Halbmesser $=$ R wirkt, statt daſs die Reibung am Umfange des Zapfens vom Halbmesser $=$ r statt findet, so ist das Maſs der Reibung $= \frac{Q \cdot R}{r}$ oder, wenn die Belastung $= 2P + Q$ war (das Gewicht der Welle mit eingeschlossen), so ist der Reibungscoefficient

$$f = \frac{Q}{2P + Q} \cdot \frac{R}{r}.$$

Dieser Reibungsmesser bestimmt also, wenn man die Reibung und Steifheit des über die Walze gehenden Seils nicht zu beachten braucht, geradezu die Gröſse der Reibung, und Musschenbroek wandte ihn an, um bei Zapfen aus verschiedenen Materien und Zapfenlagern von verschiedener Art

Digitized by Google

die Gröſse der Reibung zu bestimmen[1]. Ein anderes Instrument, dem man auch den Namen *Reibungsmesser* beilegt, ist von Desaguliers angegeben worden; es scheint aber mehr geeignet zu oberflächlichen als zu ganz genauen Bestimmungen. Dieser Reibungsmesser besteht aus einer Axe, deren Reibung auf verschiedenartigen Zapfenlagern oder auf Frictionsrollen bestimmt werden soll, und aus einer an diese Axe mit ihrem einen Ende befestigten Spiralfeder. Da das andre Ende der Feder an einem unbeweglichen Theile des Instruments befestigt ist, so kann man die Feder dadurch, daſs man jene Axe dreht und die Feder auf diese Weise enger an die Axe heranzieht oder sie gleichsam aufwickelt, willkürlich spannen. Wird hierauf die Axe losgelassen, so kehrt die Feder zu ihrem natürlichen Zustande zurück, geht über diesen hinaus, fängt eine rückwärtsgehende Oscillation an und würde diese Oscillationen unaufhörlich fortsetzen, wenn nicht der Widerstand der Reibung dieses hinderte. Macht man also die Reibung bei dem einen Versuche stärker als bei dem andern, etwa durch angehängte Gewichte, die die Reibung der Axe in ihren Lagern vermehren, oder durch veränderte Unterlagen der Axen, so sieht man die Feder nach einer geringen Anzahl von Schwankungen zur Ruhe kommen, wogegen sich diese Oscillationen bei geringerer Reibung viel öfter wiederholen. So dient das Instrument allerdings zur Bestimmung der Ungleichheit der Reibung, aber es würde nicht ohne Schwierigkeit zu einer strengen Abmessung eingerichtet werden.

Unter den Versuchen, welche zur Bestimmung der Reibung, sofern sie dem Entstehen der Bewegung entgegenwirkt, angestellt worden sind, verdienen die von Musschenbroek, Coulomb und Vince wohl am meisten Berücksichtigung. Daſs man kein für alle verschiedenen Körper geltendes Gesetz der Reibung finden könne, da sie alle an Structur, Härte, Rauhheit u. s. w. verschieden sind, bemerkt schon Musschenbroek mit Recht. Er untersuchte die Reibung mehrerer Holzarten, die entweder über gleichartige oder ungleichartige Holzflächen fortbewegt wurden, und fand die Reibung

1 v. Musschenbroek elem. physicae. p. 127.

nicht ganz dem Drucke proportional, sondern langsamer zunehmend, als den Druck. Die Versuche mit dem Tribometer entsprachen dagegen nicht immer dieser Regel, sondern gaben in einigen Fällen bei gröſserem Drucke, in andern Fällen bei kleinerem einen gröſsern Reibungscoefficienten. Eine stählerne Axe litt weniger Reibung auf Messing, als auf Kupfer, und ohngefähr war für eine stählerne, nicht mit Oel bestrichene Axe der Reibungscoefficient $= \frac{1}{6}$ bis $\frac{1}{7}$ auf einer Unterlage von Messing oder von Blei, $\frac{3}{14}$ bis $\frac{1}{6}$ auf Kupfer, etwa $\frac{3}{10}$ bis $\frac{1}{4}$ auf Stahl, $\frac{4}{12}$ bis $\frac{1}{4}$ auf Guajakholz; beim Bestreichen mit Oel ward die Reibung der stählernen Axe auf Messing $\frac{1}{7}$ bis $\frac{1}{8}$, auf Stahl $\frac{1}{6}$ bis $\frac{1}{4}$, auf Zinn nahe $\frac{1}{4}$ gefunden.

Coulomb hat eine vielmehr umfassende Reihe von Versuchen angestellt[1]. Eine hölzerne Unterlage, eine Art von Schlitten, ward auf einer sehr polirten hölzernen horizontalen Ebene fortgezogen, und hier fand sich, zuerst für Eichenholz auf Eichenholz nach der Richtung der Fasern, daſs der Reibungscoefficient ungefähr = 0,43 war. Bei einer gröſsern Reibungsfläche war die Reibung kaum halb so groſs, wenn man den Druck, der bis auf 2474 Pfund ging, nur einen Augenblick dauern lieſs, aber nach nur etwas längerer Dauer hatte die Reibung schon ihre ganze Gröſse erreicht; bei einer kleinen Reibungsfläche war die Zeit, wo die Reibung geringer seyn mochte, ganz unmerklich. Bei groſsen Reibungsflächen und geringen Belastungen zeigten sich auffallende Ungleichheiten in dem Resultate der einzelnen Versuche, wogegen bei groſsen Belastungen und kleinen Reibungsflächen die Reibung fast genau dem Drucke proportional war.

Versuche mit Eichenholz auf Tannenholz gaben ähnliche Ungleichheiten, aber 0,66 als Reibungscoefficienten; Tannenholz auf Tannenholz = 0,56. Wurde die Unterlage von Eichenholz mit den Fasern quer gegen die Fasern des festen Tisches fortgezogen, so betrug der Reibungscoefficient 0,26 und die Reibung kam erst nach etwas längerer Zeit zu der Grenze, die sie bei dauerndem Drucke erreicht.

Die Versuche über die Reibung zwischen Holz und Me-

---

1 Mém. présent. à l'acad. de Paris. T. X. 166.

tall sind vorzüglich dadurch merkwürdig, daſs die längere Dauer des Drucks die Reibung so sehr vermehrte. Eine Last von 1650 Pfund auf Unterlagen von Eisen über Eichenholz nach der Richtung der Fasern fortgezogen forderte nur 125 Pfund Kraft, nachdem der Druck ½ Sec. gedauert hatte, 145 Pfund nach 80 Sec., 280 Pfund nach 16 Stunden, 340 Pfund nach 4 Tagen, so daſs man den Reibungscoefficienten von 0,08 bis 0,2 wachsend angeben müſste. Bei Metallen, die sich über einander fort bewegen, nimmt dagegen die Reibung bei längerer Dauer des Drucks nicht merklich zu. Coulomb erhielt für Eisen auf Eisen 0,285, für Eisen auf Messing 0,26 und bei sehr kleinen Berührungsflächen, sobald diese durch einen wiederholten Gebrauch sich recht polirt hatten, nur 0,17.

Alle diese Versuche wurden ohne irgend ein Bestreichen mit einer andern Substanz angestellt; bei den folgenden ward eine Schicht Seife zwischen die reibenden Körper gebracht. Betrug die Dicke dieser Schicht eine halbe Linie, so nahm die Reibung bei gröſserer Reibungsfläche ganze 6 Tage lang zu, so daſs bei 3250 Pfund Druck im ersten Augenblicke die Reibung nur 120 Pfund, nach einer Minute 413 Pfund, nach 1 Stunde 880 Pfund, nach 5 Tagen 1200 bis 1550 Pfund betrug; bei sehr kleiner Reibungsfläche dagegen erreichte die Reibung schnell ihr Maximum. War die Bestreichung mit Seife durch mehrmaligen Gebrauch abgeglättet, so nahm dennoch die Reibung bei längerer Dauer des Drucks stark zu, etwa von 0,08 bis 0,25 des ganzen Drucks. Metallflächen, namentlich Eisen und Kupfer, auf einander fortbewegt, zeigten auch hier keine groſse Verschiedenheit bei ungleicher Dauer des Drucks, so daſs die Reibung von 0,09 nur etwa bis auf 0,10 stieg. Um eine richtige Vergleichung zwischen der Reibung und dem Drucke anzustellen, muſste man für das Klebende der mit Seife bestrichenen Oberflächen etwas abrechnen und fand dann für unmerklich kurze Dauer des Drucks $\frac{1}{11}$ und für lange dauernden Druck $\frac{1}{3}$ als Gröſse des Reibungscoefficienten.

Eine zweite Reihe von Versuchen betraf die Reibung während der Bewegung. Es ward auch hier der Körper auf einem genau horizontalen festen Tische fortgezogen, aber jetzt mit Hülfe eines Pendels beobachtet, wie weit der aufgelegte

Körper in bestimmter Secundenzahl fortgezogen worden war; fand sich die Bewegung, die man durch eine leichte Erschütterung hervorgebracht hatte, gleichförmig, so war das ziehende Gewicht genau der Reibung gleich. Die Versuche zeigten, daſs bei groſsen Reibungsflächen die Reibung bei vermehrter Geschwindigkeit etwas zunahm, statt daſs sie bei sehr kleinen Reibungsflächen eher abnahm; beides war indeſs so wenig, daſs man die Reibung als eine constante, von der Geschwindigkeit unabhängige Kraft ansehn konnte. Die Reibung betrug bei Eichenholz auf Eichenholz während der Bewegung ziemlich genau 0,105; doch betrug sie bei geringer Belastung einen gröſsern Theil des Drucks, und man muſste schlieſsen, daſs ein Theil des Widerstands durch die Gröſse der Oberfläche, durch die Beugung der Fasern bestimmt würde, der andere Theil nach dem Maſse des Drucks wachse; der erste Theil scheint bei vermehrter Geschwindigkeit zuzunehmen, weshalb bei schwachem Drucke, wo der erste Theil von mehr Einfluſs ist, auch die vermehrte Geschwindigkeit den Widerstand vergröſsert. Die Reibung in der Bewegung war bei Eichenholz mit gekreuzten Fasern nicht viel geringer, als bei parallelen Fasern; aber statt daſs der Reibungscoefficient bei parallelen Fasern sich geringer findet, wenn die Reibungsfläche kleiner ist, und hier bei gröſsern Geschwindigkeiten nicht so zunimmt, wie es bei gröſsern Reibungsflächen der Fall ist, findet man bei gekreuzten Fasern einen solchen merklichen Unterschied nicht.

Wenn Eisen auf Eichenholz fortgezogen wurde, so betrug bei sehr geringen Geschwindigkeiten die Reibung ungefähr 0,08 des Drucks, bei etwas schnellerer Bewegung betrug sie mehr.

Für Eichenholz mit Seife bestrichen und über Eichenholz fortgezogen betrug in der Bewegung, wo also die Dauer des Drucks verschwindet, der Reibungscoefficient nur 0,037; aber bei abnehmendem Drucke nahm er stark zu, so daſs der für die Adhäsion der Oberflächen an einander zu rechnende Theil (5 Pfund auf 180 Quadratzoll) hier sehr merklich wurde, statt daſs er bei starkem Drucke gegen den dem Drucke proportionalen Theil fast nicht in Betrachtung kam. Bei sehr schmalen Oberflächen betrug die Reibung fast immer 0,06 des Drucks, die Bestreichung mit Seife mochte neu oder abgerieben seyn,

und auch Verſchiedenheit der Geſchwindigkeit hatte hier keinen Einfluſs. Indeſs erhält man nur dann gleichförmige Reſultate, wenn die Seife durch wiederholte Fortbewegung der Körper glatt abgenutzt und ganz in die Poren eingedrungen iſt.

Ueber die Reibung von Metallen auf Holz, das mit Seife beſtrichen iſt, macht Coulomb folgende Bemerkung. Wenn Metalle über ſo beſtrichenen Holzflächen fortgleiten, ſo bringt man geringe Geſchwindigkeiten mit ſehr geringer Kraft hervor, aber wenn man gröſsere Geſchwindigkeiten erhalten will, ſo iſt der Widerſtand viel gröſser; auſserdem iſt die Reibung viel gröſser, wenn man dieſen Ueberzug von Fett oder Seife nicht immer erneuert, indem die Veränderung, welche dieſe zum Beſtreichen angewandten Körper dann erleiden, ſehr viel gröſsere Reibung hervorbringt. Bei einem Verſuche, wo ſich eine Kupferfläche von 45 Quadratzoll auf Eichenholz rieb, unter einem Drucke von 1650 Pfund, wurden bei den erſten Verſuchen nach dem friſchen Beſtreichen mit Seife 3 Fuſs in 4 Sec. zurückgelegt, als die ziehende Kraft 100 Pfund betrug, aber bei dem zehnten Verſuche dieſelben 3 Fuſs erſt in 11 Secunden, bei dem zwölften Verſuche in 34 Secunden, bei dem ſechzehnten Verſuche wollte die Bewegung gar nicht mehr fortgehn, obgleich die ziehende Kraft immer dieſelbe blieb.

Bei ſehr ſchmalen Reibungsflächen half das Beſtreichen ſehr wenig, da die angewandte Seife oder das Fett faſt ganz ſeitwärts gedrückt wurde und die Oberflächen alſo keinen glättenden Ueberzug mehr behielten.

Die Verſuche über die Reibung ſtählerner Axen in kupfernen Büchſen gaben dieſe 0,15 bis 0,19 und dieſer Coefficient blieb bei allen ſtärkern Belaſtungen gleich, nur bei ſchwächern Preſſungen wurde er, vermuthlich wegen Unvollkommenheit der Politur, etwas gröſser gefunden. Durch ein Beſtreichen mit feiner Seife ging die Reibung bis auf 0,09 herab. Im Allgemeinen war die Reibung der Axen in ihren Büchſen oder Zapfenlagern etwas geringer, als die gleitende Reibung ebener Flächen über einander.

Die übrigen zahlreichen Verſuche, die über manche Einzelnheiten Belehrung geben, aber doch auch zeigen, wie ganz unmöglich es iſt, für einen Gegenſtand, der von unzähligen

Digitized by Google

Nebenumſtänden abhängt, genaue Geſetze zu finden, übergehe ich hier.

Die Hauptregel, daſs man in den meiſten Fällen, wo die Belaſtung erheblich iſt, die Reibung ſehr nahe als dem Drucke proportional und als von der Geſchwindigkeit wenig abhängig anſehn könne, läſst ſich indeſs wohl als hierdurch hinreichend begründet anſehn, wenn ſie auch, wie wir geſehn haben, manche nicht ganz unbedeutende Abweichungen von der ſtrengen Genauigkeit giebt. Die von einigen andern Phyſikern angenommene Abhängigkeit der Reibung von der Geſchwindigkeit ſcheint nicht ſtatt zu finden und auch v. Gerstner behauptet, daſs neuere Unterſuchungen bei den groſsen Geſchwindigkeiten auf den Eiſenbahnen daſſelbe ergeben haben[1].

Die Verſuche von Vince[2] ſind zwar auch ſo angeſtellt worden, daſs er den Körper auf einer horizontalen Ebene durch eine horizontal wirkende Kraft fortziehn lieſs, aber da er die Frage, ob die Friction als eine gleichförmig widerſtehende Kraft wirke, zu beantworten wünſchte, ſo beobachtete er genau die Falltiefen des ziehenden Gewichts für verſchiedene Dauer der Bewegung. War nämlich P das Gewicht des auf der Ebene fortgezogenen Körpers, fP die Reibung, Q das ziehende Gewicht, ſo muſste $\frac{Q-fP}{P+Q}.gt^2$ der Ausdruck für den Fallraum ſeyn, und da ſich aus den beobachteten Fallräumen für verſchiedene gegebne Werthe von t gleiche Werthe von f ergaben, ſo zeigte ſich die Reibung als eine conſtant wirkende Kraft. Dieſe Experimente lieſsen eine ſehr genaue Beſtimmung des Reibungscoefficienten zu. In Beziehung auf den Druck fand Vince, daſs die Reibung nicht völlig dem Drucke proportional wächſt, ſondern bei groſsen Belaſtungen der Reibungscoefficient etwas geringer gefunden wird, wenn auch alle andern Umſtände gleich bleiben. Waren die Belaſtungen gleich, aber die reibende Fläche verſchieden, ſo zeigte ſich die Reibung kleiner bei der kleinern Fläche. Alle dieſe Verſuche ſind indeſs nur bei geringem Drucke angeſtellt worden und ſind daher nicht ſo umfaſſend, als die von Coulomb angeſtellten, mit denen ſie jedoch der Hauptſache nach übereinſtimmen.

1 Handb. der Mechanik. I. 496.
2 Phil. Tranſact. 1785. 165.

Digitized by Google

Die Reibung muſs überall, wo man Gleichgewicht erhalten oder Bewegung hervorbringen will, in Betrachtung gezogen werden, und zwar auf entgegengesetzte Weise, indem sie uns die Erhaltung der Ruhe erleichtert und uns die Bewirkung der Bewegung erschwert. Wäre keine Reibung, so würden schon bei sehr geringer Neigung einer Fläche alle Körper auf ihr herabgleiten und wir selbst würden auf einer abhängigen Fläche nicht hinaufgehn können, so wie uns dieses auch auf glattem Eise, wo die Reibung nur gering ist, sehr schwierig wird.

Um eine nicht zum Wälzen, sondern bloſs zum Fortschieben geeignete Last $= P$ auf einer unter dem Winkel $= \alpha$ gegen den Horizont geneigten Ebene bloſs zu erhalten, würde eine Kraft $= P. \text{Sin.}\, \alpha$ der Ebene parallel erforderlich seyn, wenn keine Reibung statt fände; aber wenn f der Reibungscoefficient ist, so reicht eine Kraft $= P\,(\text{Sin.}\, \alpha - f\, \text{Cos.}\, \alpha)$ aus, um die Last zu erhalten, und diese Kraft ist $= 0$, wenn $\text{Tang.}\, \alpha = f$ ist; auch, so lange $\text{Tang.}\, \alpha < f$ ist, bedarf es gar keiner Kraft, um das Hinabgleiten zu hindern. Soll dagegen die Last auf der geneigten Ebene hinaufwärts bewegt werden, so ist dazu eine Kraft $= P\,(\text{Sin.}\, \alpha + f.\, \text{Cos.}\, \alpha)$ erforderlich, weil die Reibung als eine entgegenwirkende Kraft zugleich mit überwunden werden muſs. Ist der Reibungscoefficient sehr klein, so ist die Aenderung der zum Hinaufziehn der Last erforderlichen Kraft sehr bedeutend, wenn auch α sich nur wenig vergröſsert, z. B. bei $f = \frac{1}{160}$, was ungefähr dem Widerstande der Wagen auf Eisenbahnen gleich ist, würde die erforderliche Ziehkraft seyn

$$\begin{aligned} \text{bei } \alpha &= \ 0^\circ, = \tfrac{1}{160} = 0{,}00625, \\ \text{bei } \alpha &= 30', \qquad\quad = 0{,}0150, \\ \text{bei } \alpha &= \ 1^\circ, \qquad\quad = 0{,}0237, \end{aligned}$$

so daſs bei einem Steigen von 9 Fuſs auf 1000 Fuſs die Kraft schon fast zum $2\frac{1}{2}$fachen wachsen muſs. Wäre dagegen $f = \frac{1}{25} = 0{,}04$, so hätte man für $\alpha = 0 \ \ldots\ 0{,}04.P$,

$$\text{für } \alpha = 1^\circ \ \ldots\ 0{,}057.P,$$

also die Zugkraft bei $17\frac{1}{2}$ Fuſs Steigen auf 1000 Fuſs nur bis zum $1\frac{1}{2}$fachen vergröſsert. Der Nutzen einer sehr herabgesetzten Reibung bleibt daher zwar immer wichtig, aber gewährt doch nur bei ganz horizontalen Bahnen den gröſsten Vortheil, und da man bei Eisenbahnen dem einen Pferde so-

Digitized by Google

viel zu ziehn giebt, als es auf horizontaler Bahn fortbringen kann, so müſste man nothwendig 2 Pferde vorspannen, wenn der Weg auch nur 7 Fuſs auf 1000 Fuſs steigt.

Die groſse Reibung, welche in vielen Fällen statt findet, erlaubt uns oft, jede andere Kraft wegzunehmen, wo es bloſs auf ein Erhalten der Last ankommt. Eine Schraube, mit welcher eine erhebliche Last hinaufgeschraubt ist, wird nicht so leicht sich zu drehn anfangen, sondern meistens klemmen sich hier die Gänge so in einander, daſs man zum Heben der Last eine sehr groſse Kraft, zum Erhalten der Last gar keine Kraft nöthig hat.

Wo die Drehung einer Axe oder eines Zapfens hervorgebracht werden soll, muſs man auf das *Moment der Reibung* an dieser Axe Rücksicht nehmen. Die Reibung ist nämlich als eine nach der Richtung der Tangente des Zapfens wirkende Kraft anzusehn, die der Bewegung desto wirksamer widersteht, je entfernter sie vom Drehungspuncte oder der geometrischen Axe des Zapfens ist. Daher ist es vortheilhaft, die Axe von geringem Durchmesser zu nehmen, damit das Moment der Reibung klein sey. Hiermit steht der Vortheil in Verbindung, den man sich von den Frictionsrollen verspricht. Nach Poppe's Angabe sind diese von Heinrich Sully im Jahre 1726 zuerst vorgeschlagen worden [1]. Sie
Fig. 240. dienen, indem die eigentliche Axe C nicht auf einer festen Unterlage, sondern auf dem Umfange der beweglichen Räder A, B liegt, um die Reibung fast in dem Verhältnisse herabzusetzeu, welches durch das Verhältniſs zwischen den Durchmessern der Axe a, b und der Rollen A, B angegeben wird. Es sey nämlich das die Axe C belastende Gewicht = P, so würde f.P die Reibung an dieser Axe seyn, wenn sie auf einer festen Unterlage läge, und eine Kraft = f.P am Umfange der Axe C würde nöthig seyn, die Reibung zu überwinden. Aber da A und B Rollen sind, die eine freie Bewegung um a, b haben, so bringt eine Bewegung der Axe C eine Dre-

1 J. H. M. Poppe pract. Abh. über d. Lehre v. d. Reibung. (Göttingen 1801) S. 131, wo angeführt wird: H. Sully descr. abrégée d'une horloge, servant à la juste mesure du tems. Bourdeaux 1726. Aber um eben die Zeit hat auch Mondrau einen gleichen Vorschlag gethan und Versuche über Frictionsrollen angestellt. Mém. de Paris. 1725. hist. p. 102.

Digitized by Google

hung der Räder A, B hervor und die an dem Umfange von C statt findende Reibung ist unbedeutend geworden. Dagegen aber leiden die Axen a, b jetzt eine eben solche Reibung, wie vorhin C. Es sey r der Halbmesser der Axen a, b, und R der Halbmesser der Scheiben A, B, so ist an a, welche die Last $\frac{1}{2}$ P trägt (um ein Geringes vermehrt durch das Gewicht der Scheibe A, welches wir bei Seite setzen), die Reibung $= \frac{1}{2}$ f.P, aber diese hat nur das Moment $= \frac{1}{2}$ r.f.P, und eine am Umfange von C oder A wirkende Kraft braucht nur $= \frac{1}{2} \cdot \frac{r}{R}$ f. P. zu seyn, um sie zu überwinden. Da für B eben dieses statt findet, so ist die Reibung, die vorhin f. P war, nun auf $\frac{r}{R}$. f. P herabgesetzt, und diese Bestimmung ist nur insofern ungenau, als erstlich das Gewicht der Frictionsräder oder Frictionsrollen die Reibung um etwas vermehrt, und zweitens auch am Umfange von A und C oder B und C einige, wenn auch nur geringe Reibung statt findet. Diese Frictionsräder würden daher höchst vortheilhaft seyn, wenn nicht in manchen Fällen die hiernach mehr zusammengesetzte Maschine andere Unbequemlichkeiten mit sich brächte.

Die weitere Ausführung der Betrachtung der Friction bei Maschinen und in einzelnen Fällen muſs ich hier übergehn. Wie weit die praktische Mechanik es in der Polirung der Metalle und Verminderung der Reibung gebracht hat, davon führt Bessel ein merkwürdiges Beispiel an. An dem Apparate, dessen er sich zur Bestimmung der Pendellänge bediente, war ein solider Cylinder, der sich in einer Hülse von Glockenmetall drehte; jener füllte diese Hülse so aus, daſs der Cylinder keine Luft durchlieſs, wenn er in die unten geschlossene Hülse hineingesetzt wurde; er ruhte dann auf der durch sein Gewicht comprimirten Luft. Aber ungeachtet dieses luftdichten Schlieſsens war er doch so leicht beweglich, daſs er eine Axendrehung, die man ihm ertheilte, einige Minuten lang in der Hülse fortsetzte[1].

1 Bessel Unters. über die Länge des einfachen Secundenpendels. Berlin 1828. S. 7.

Digitized by Google

II. Wälzende Reibung.

Ueber den Grund der groſsen Verminderung der Reibung bei wälzender Reibung lassen sich theoretische Untersuchungen anstellen, die Euler weiter, als es hier geschehn kann, verfolgt hat; die Grundlage der hierher gehörigen Betrachtungen ist folgende [1].

Fig. 241. Es ruhe ein Körper mit ebener Grundfläche auf der horizontalen Ebene BD, G sey des Körpers Schwerpunct, GE die Verticallinie durch denselben, C der äuſserste Punct der Grundfläche. Nennt man nun P das Gewicht des Körpers, f den Reibungscoefficienten, so ist f.P die Kraft, welche nach der Richtung GA wirken muſs, um den Körper nach dieser Richtung fortzuziehn. Aber wenn die Entfernung EC nur klein ist, so kann offenbar schon eine geringere Kraft den Körper zum Umstürzen bringen, indem eine nach GA wirkende Kraft = Q eine Drehung um C zu bewirken strebt, welcher das Gewicht P des Körpers entgegen wirkt. Das bei der Drehung um C in Betrachtung kommende Moment der Kraft Q ist = Q. GE und das Moment der Kraft P ist = P. EC, so daſs der Körper eine Drehung um C erhält, sobald (Q. GE — P. EC) einen positiven Werth hat. Ist also EC so groſs, daſs selbst für Q = f. P noch nicht Q.GE gröſser als P.EC ist, oder ist EC > f. EG, so kommt der Körper gar nicht zum Umstürzen oder nimmt gar keine Wälzung an, sondern läſst sich auf der horizontalen Ebene fortziehn, ohne seine Stellung auf derselben zu ändern; ist dagegen EC < f. EG, so bedarf es einer desto geringern Kraft $Q = \frac{P.EC}{EG}$, um die Wälzung hervorzubringen, je kleiner $\frac{EC}{EG}$ ist. Hieraus würde folgen, daſs ein cylindrischer Körper oder eine Kugel mit einer unendlich kleinen Kraft fortgewälzt werden könnte, also der durch die Reibung der wälzenden Bewegung entgegengesetzte Widerstand unendlich klein wäre, weil bekanntlich die Berührung der Kugel mit der Ebene nur in einem einzigen Puncte und des Cylinders nur in jedem Querschnitte

---

1 Comment. Acad. Petrop. XIII. p. 220. 197. Novi Comm. acad. Petrop. VI. p. 233.

Digitized by Google

in *einem* Puncte statt findet, also EC = 0 ist; aber es ist offenbar, daſs im physischen Sinne die Berührung sich nicht auf einen geometrischen Punct beschränkt, wohl aber sehr klein ist. Wären also die Rauhheiten der Ebene so bedeutend, daſs EC einen Bogen von $\frac{1}{2}$ Grad ausmachte, und $EGC = 30'$, so würde die wälzende Reibung = 0,009 seyn, statt daſs die gleitende Reibung den fünften oder dritten Theil der Last oder sogar mehr betragen könnte.

Auf ähnliche Art läſst sich die wälzende Reibung auf der geneigten Ebene betrachten. Es sey $ABD = \alpha$ der Nei- Fig. 242.
gungswinkel der Ebene, auf welcher der Körper, dessen Schwerpunct in G ist, ruht. Aus dem Gewichte = P des Körpers selbst entspringt hier eine Kraft = P. Sin. α nach der Richtung GU wirkend und der Körper wird, wenn er nicht umstürzt, fortgleitend seine Bewegung anfangen, wenn Sin. $\alpha >$ f. Cos. α ist. Aber auch hier kann eine drehende Bewegung um C eintreten und die nach GU wirkende Kraft hat in Beziehung auf diese das Moment = P. GE. Sin. α, wogegen das Gewicht des Körpers mit einer Kraft, deren Moment = P. EC. Cos. α ist, entgegenwirkt. Die Wälzung tritt also ein, wenn GE. Sin. α — EC. Cos. α positiv ist oder, wenn $EGC = \beta$ heiſst, wenn $\alpha > \beta$ ist. Indeſs wenn die Reibung des Fortgleitens = f. P. Cos. α so gering ist, daſs Sin. α noch $< \frac{EC}{GE}$ Cos. α bleibt, wenn schon Sin. $\alpha >$ f. Cos. α ist, oder wenn f < Tang. β ist, so wird der Körper eher fortgleitend vorrücken, als zum Umstürzen kommen.

Wenn EC sehr klein oder eigentlich wenn β sehr klein ist, so kommt also der Körper bei der geringsten Neigung der Ebene schon zum Wälzen, wie wir dieses bei Kugeln und andern runden Körpern sehn. Ist β gröſser, so kann der Körper fortgleitend auf der Ebene herabgehn, wenn Tang. α = f einen kleinern Werth für α giebt, als $\alpha = \beta$, so lange nämlich dann Tang. α zwischen dem kleinern f und dem gröſsern Tang. β bleibt; aber wenn $\alpha > \beta$ wird, so stürzt auch dann der Körper um. Wenn man die Berührung der Kugel als wirklich in einem unendlich kleinen Puncte statt findend annimmt, das heiſst, wenn man die Kugel und Ebene als vollkommen hart und von allen Ungleichheiten frei, dennoch aber als eine Reibung zulassend, ansieht, so wird der Wider-

Digitized by Google

stand, den die wälzende Reibung auf einer horizontalen Ebene leistet, = 0 und eine den Schwerpunct der Kugel parallel mit der horizontalen Ebene forttreibende Kraft setzt die Kugel in eine wälzende Bewegung, bei welcher sehr bald die Geschwindigkeit des berührenden Puncts = 0 wird, oder die drehende Bewegung des untern Puncts rückwärts genau so schnell, als die Fortrückung des Schwerpuncts vorwärts ist. Diese Bewegung nennt Euler *vollkommene Wälzung* (*provolutio perfecta*). Diese würde unter den angegebenen Umständen, sobald sie einmal eingetreten ist, mit gleichförmiger Geschwindigkeit fortgehn, weil die allerdings statt findende Reibung, welche die Wälzung bewirkt, hier ohne Widerstand überwunden würde. Diese theoretische Folgerung ist gewiſs richtig, obgleich die Erfahrung keinen Fall, wo die Berührung der Kugel in einem geometrischen Puncte statt findet, darbietet. Hätte man der Kugel eine andre Rotationsbewegung ertheilt, so daſs die Geschwindigkeit des untern Puncts nicht = 0 wäre, so würde die gleitende Reibung eintreten und diese würde die Rotationsgeschwindigkeit nach und nach zu jener der vollkommenen Wälzung entsprechenden zurückführen.

Ist die von der Kugel in einem einzigen Puncte berührte Ebene geneigt, so fängt durch das eigene Gewicht der Kugel die Wälzung an, und Euler glaubte aus der Betrachtung der hier wirkenden Kräfte schlieſsen zu können, daſs die fortschreitende Bewegung in diesem Falle stets gröſser als die wälzende seyn müsse und daſs also die *vollkommene Wälzung*, wobei der anliegende Punct ebenso schnell rückwärts gedreht wird, als der Mittelpunct fortschreitet, hier nie statt finde. Dan. Bernoulli hatte das Gegentheil behauptet und dieses schien mit Experimenten, die Krafft anstellte, übereinzustimmen. Euler corrigirt daher seine vorige Betrachtung auf folgende Weise. Die beständig wirkende beschleunigende Kraft, welche die Kugel mit der Ebene parallel herabtreibt, bringt allerdings ein Bestreben hervor, dem auf der Ebene anliegenden Puncte, statt der Geschwindigkeit = 0, wie sie bei der vollkommenen Wälzung statt findet, eine gröſsere fortrückende Bewegung zu ertheilen; aber dieses Bestreben wird bei nicht zu groſser Neigung der Ebene gegen den Horizont sogleich durch die Reibung, welche dem Fortgleiten sehr be-

deutend entgegenwirkt, unterdrückt. Wenn der Neigungswinkel der Ebene gröſser genommen wird, so daſs auch die gleitende Reibung nicht mehr zureichend ist, um die Zunahme der Bewegung zu hemmen, so entsteht eine *gemischte Wälzungsbewegung* (*provolutio mixta*), wo nämlich der Wälzungsbogen kleiner als der vom Mittelpuncte zurückgelegte Weg ist, also der untere Punct eine vorwärts gleitende Bewegung in Verbindung mit der wälzenden Bewegung erlangt hat.

Krafft hat Experimente über dieses Herabwälzen eines Cylinders auf einer geneigten Ebene angestellt. Er fand, daſs eine genau 22 Zoll im Umfange haltende Scheibe von Tannenholz für 21° Neigung, so gut wie für 3° Neigung, noch genau der vollkommenen Wälzung gemäſs herabrollte. Krafft berechnet, daſs in diesem Falle, wo die gleitende Reibung etwas mehr als ¼ betrug, die Abweichung von der vollkommenen Wälzung erst bei 50° Neigung ziemlich merklich werden könnte. Bei verticaler Stellung der Ebene hört offenbar die Wälzung ganz auf.

Vince stellt diese Betrachtung so an. Wenn ein runder Körper, ein Cylinder oder eine Kugel, auf der geneigten Ebene herabrollt, so wird der Punct s, welcher dem untersten Fig.
Puncte a als Mittelpunct des Schwunges correspondirt, nicht 243.
durch die in a wirkende Reibung in seiner Bewegung gestört, indem eine in a auf den Radius ar senkrecht wirkende Kraft eine Drehung um den Mittelpunct des Schwunges s bewirkt. Hat dann der Körper eine rollende Bewegung, so kann im Allgemeinen der Durchmesser sra nach einem geringen Zeitraume die Lage s′r′a′ angenommen haben, und der Mittelpunct ist durch die Reibung um ss′ — rr′ zurückgehalten worden, statt daſs rr — aa′ die Zunahme der Rotation angiebt (der die Ebene berührende Punct ist nämlich um rr′ auf der Ebene, dagegen nur um rr′ — aa′ auf der Kugel fortgerückt). Man hat daher die Retardirung des Mittelpuncts vermöge der Reibung zu der Accelerirung der Rotationsbewegung, wie rs zu ra, und könnte daher aus der beobachteten Bewegung des Mittelpuncts die Drehungsbewegung herleiten. Wenn die vollkommene Wälzung statt findet, so ist aa′ = 0 und man hat dann den vom Mittelpuncte r durchlaufenen Raum v dt zu dem vom Schwingungspuncte s durchlaufenen, der = 2g t dt Sin. *α*

iſt, wenn die Dauer der Bewegung $= t$ war, wie ar zu as, ſo daſs $v = \frac{ar}{as} \cdot 2gt \text{ Sin. } \alpha$ dann beſtimmt iſt. Für die Kugel iſt, wenn man ſich a als Drehungs-Axe denkt, $as = \frac{7}{5} \cdot ar$, alſo in dem letzten Falle $v = \frac{5}{7} \cdot 2gt \text{ Sin. } \alpha$, und bei vollkommener Wälzung ſollte für das Fallen auf der geneigten Ebene der Weg $= \frac{5}{7} \cdot gt^2 \text{ Sin. } \alpha$ ſeyn, ſtatt daſs er ohne Reibung $= gt^2 \text{ Sin. } \alpha$ wäre. So hinge alſo die Zeit, in welcher ein gewiſſer Raum auf der geneigten Ebene mit vollkommener Wälzung durchlaufen wird, nicht von der Gröſse der Reibung ab, und dieſes offenbar aus dem Grunde, weil wir annehmen, daſs die Reibung in dieſem Falle durch eine unendlich kleine Kraft überwunden wird. In dem wirklichen Falle, wo die Berührung der Kugel ſich nicht ſtreng auf einen geometriſchen Punct beſchränkt, müſste es offenbar etwas anders ſeyn.

Wollte man über die wälzende Bewegung auch nur auf der horizontalen Ebene vollkommene Unterſuchungen anſtellen, ſo würden dieſe ſehr ſchwierig werden. Die leichteſten Fälle ſind die, wo die Wälzungs-Axe der Kugel mit der Ebene parallel und auf die Richtung der Bewegung ſenkrecht iſt. Hier finden drei Fälle ſtatt, indem 1) die Wälzung vollkommen ſeyn
Fig. 244. kann oder der Punct A durch die Rotation ſo viel zurückgeht, als der Mittelpunct R vorwärts; dann iſt die Geſchwindigkeit des in irgend einem Augenblicke die Ebene berührenden Puncts $= 0$. 2) Wenn A eine ſchnellere drehende Bewegung rückwärts hat, als der Mittelpunct vorwärts. In dieſem Falle nimmt die Drehungsbewegung nach und nach ab und die Bewegung geht ziemlich bald in die vollkommene wälzende über; ehe dieſes eintritt, wird die Bewegung des Mittelpuncts durch die Reibung ſchneller gemacht. 3) Wenn dem runden Körper eine ſolche Wälzung ertheilt iſt, daſs der Punct A nach der Richtung PAB rotirt, während der Mittelpunct parallel mit AF nach F zu fortgeht. Hier wird die rotirende Bewegung vermindert und geht in gewiſſen Fällen in die entgegengeſetzte über, aber es kann ſich auch ereignen, daſs der nach AF fortrückende Körper umkehrt und die entgegengeſetzte Richtung verfolgt, wie man dieſes an einer Billardkugel ſehn kann, der man durch einen angemeſſenen Stoſs nach der Richtung NP eine ſolche Bewegung ertheilt. Euler

hat diese Fälle in den oben erwähnten Abhandlungen betrachtet, da aber Vince eine einfachere Darstellung giebt, so will ich diese hier mittheilen.

Aus der in der 243sten Figur dargestellten Wälzung erhellt, daſs da, wo keine vollkommene Wälzung statt findet, die Wälzung nach der Richtung a l beschleunigt und zugleich das Fortschreiten des Mittelpuncts aufgehalten wird; erst wenn die vollkommene Wälzung statt findet, ist die Rotationsgeschwindigkeit des Puncts a so groſs, als die fortrückende Geschwindigkeit des Mittelpuncts. Fängt also auf der horizontalen Ebene die Bewegung ohne alle Rotation an mit der Geschwindigkeit $= v'$, und ist v zu irgend einer andern Zeit $= t$ die Geschwindigkeit des Mittelpuncts, so ist, weil die Reibung als eine constante Kraft wirkt, $v = v' - 2gft$, wenn f der Reibungscoefficient ist und g den Fallraum in 1 Sec. darstellt; und wenn wir mit s den durchlaufenen Raum bezeichnen, so haben wir $s = v't - gft^2 = \frac{v'^2 - v^2}{4gf}$ oder $v = \sqrt{(v'^2 - 4gfs)}$. Während aber der Mittelpunct die Geschwindigkeit $v' - v = v' - \sqrt{(v'^2 - 4gfs)}$ verliert, nimmt die Rotationsgeschwindigkeit um $\frac{ra}{rs}(v' - v)$ zu, wenn s in der Figur der Mittelpunct der Schwingung um a ist, und dieses dauert fort, bis die Rotationsgeschwindigkeit

$$= v = \sqrt{(v'^2 - 4gfs)}$$

geworden ist. Setze ich hier sogleich $\frac{ra}{rs} = \frac{5}{2}$ für die Kugel, so dauert die Aenderung der Rotationsbewegung bis $v = \frac{5}{2}(v' - v)$ oder $v = \frac{5}{7}v'$ ist, oder bis

$$\sqrt{(v'^2 - 4gfs)} = \frac{5}{2}v' - \frac{5}{2}\sqrt{(v'^2 - 4gfs)},$$

das ist, wenn $4gfs = \frac{24}{49}v'^2$. Durch diesen Raum $= s$ also geht die ohne anfängliche Rotation in Bewegung gesetzte Kugel mit zunehmender Rotationsbewegung fort und dann erst gelangt sie zu dem dauernden Zustande der volkommenen Wälzung.

Fand schon anfangs eine Rotationsgeschwindigkeit $= u'$ in der Richtung statt, wie die Reibung sie hervorzubringen strebt, so geben dieselben Betrachtungen,

daſs $u' + \frac{5}{2}[v' - \sqrt{(v'^2 - 4gfs)}] = \sqrt{(v'^2 - 4gfs)}$

werden muſs, wenn die vollkommene Wälzung eintritt; also

Digitized by Google

$$u' + \tfrac{5}{2} v' = \tfrac{7}{2} v;\quad v = \frac{2u' + 5v'}{7};$$

oder $4gfs = v'^2 - \frac{(2u' + 5v')^2}{49} = \frac{24v'^2 - 20u'v' - 4u'^2}{49}$.
Wäre sogleich $v' = u'$, so würde $s = 0$, weil die vollkommene Wälzung schon sogleich statt findet. Wäre $u' > v'$, also die Wälzung etwa durch einen nach der Richtung LM wirkenden Stoſs mehr beschleunigt, als der vollkommenen Wälzung gemäſs ist, so wird $v = \frac{2u' + 5v'}{7}$ gröſser als v' und die Reibung bringt durch Verminderung der Rotationsgeschwindigkeit eine vermehrte Bewegung des Mittelpuncts hervor. Um den Raum $= s$ zu bestimmen, wo die gleichförmig wälzende Bewegung eintritt, muſs man bedenken, daſs nun die Reibung die entgegengesetzte Richtung hat und daher das Zeichen entgegengesetzt zu nehmen ist.

Der merkwürdigste Fall ist, wenn u' negativ ist oder der Kugel anfangs, wie es durch einen Stoſs nach der Richtung NP geschehn könnte, eine Drehung ertheilt wurde, die der durch die Friction bewirkten entgegengesetzt ist. Hier ist u' negativ und die vollkommene Wälzung tritt ein, wenn $v = \frac{5v' - 2u'}{7}$ ist, und diese Geschwindigkeit kann negativ seyn, wenn $2u' > 5v'$ ist. In diesem Falle nämlich ist die fortrückende Geschwindigkeit $= 0$ geworden, ehe die drehende Geschwindigkeit ganz aufhört, und die Wälzung führt daher die Kugel zurück. Der bis dahin, wo $v = 0$ wird, durchlaufene Weg ist $= \frac{v'^2}{4gf} = s'$ und die alsdann noch übrige Rotationsgeschwindigkeit ist $= - u' + \tfrac{5}{2} v'$. Sie führt also die Kugel wälzend rückwärts, wenn $u' > \tfrac{5}{2} v'$ war. Für diesen Fall ist die wälzende Geschwindigkeit $= u' - \tfrac{5}{2} v'$ in dem Augenblicke, da die fortschreitende Bewegung aufhört, so beschaffen, daſs B nach MPA hin fortrückt, und es tritt nun eine Wälzung rückwärts ein, welche die Kugel nach AE hin führt. Diese geht etwas später in die vollkommene Wälzung über[1]. Wenn $u' < \tfrac{5}{2} v'$ gewesen wäre, so würde

1 Vince Phil. Transact. 1785. 181. Mehrere hier angegebene Um-

Digitized by Google

v nicht = 0, sondern die gleichförmige, vollkommene Wälzung ist schon erreicht, während der Körper nach gleicher Richtung gegen F zu fortgeht, diese Wälzung aber ist dann in die entgegengesetzte übergegangen. Wollte man andere Bewegungen der Kugel auf der horizontalen Ebene voraussetzen, z. B. eine Rotationsbewegung um eine gegen die Ebene senkrechte Axe, so würde es weit schwieriger seyn, die dann in jedem Augenblicke sich ändernde Axe der Umdrehung zu bestimmen; aber eine durchgeführte Betrachtung würde auch manche auffallende Erfolge beim Billardspielen erklären.

Coulomb hat Versuche über die wälzende Reibung angestellt und sie für Walzen von Guajakholz, auf Eichenholz fortgewälzt, dem Drucke proportional und ungefähr = 0,006 des Drucks bei einer Walze von 6 Zoll Durchmesser und = 0,018 des Drucks bei 2 Zoll Durchmesser gefunden. Auch die Erfahrung zeigt also, daſs die wälzende Reibung dem Durchmesser umgekehrt proportional ist, so wie es die Theorie fordert.

Als ein aus ganz gewöhnlichen Anwendungen hergenommenes Beispiel von den Vortheilen, welche die wälzende Reibung gewährt, führt Babbage Folgendes an[1]. Ein oberflächlich eben gemeiſselter Steinblock von 1080 Pfund ward auf der Felsfläche am Steinbruche fortgeschleppt mit 758 Pfd. Kraft; man legte ihn dann auf einen Schlitten von Bretern und zog diesen auf einem hölzernen Boden fort mit 606 Pfund Kraft (Reibungscoefficient = 0,56); darauf bestrich man beide Holzflächen mit Seife und bedurfte nun nur einer Kraft von 182 Pfund (Reibung = 0,17); endlich legte man den Steinblock auf Walzen von 3 Zoll Durchmesser und er ward auf der Breterfläche mit 28 Pfund Kraft fortgezogen (wälzende Reibung = 0,026).

Die wälzende Reibung ist der eine Theil des Widerstands, den wir bei unserm Fuhrwerke zu überwinden haben, und da diese wälzende Reibung im umgekehrten Verhältnisse

---

stände findet Euler, obgleich er von andern Principien ausgeht, ebenso. Comm. Acad. Petrop. XIII. 247. 252.

1 Ueber Maschinen u. Fabrikenwesen. (übers. v. Friedeberg. Berlin 1833.) S. 13.

Digitized by Google

des Halbmessers der Räder steht, so sind höhere Räder, wenn sie nicht in andrer Hinsicht Unbequemlichkeiten herbeiführen, vortheilhaft. Der zweite Theil der bei unserm Fuhrwerke zu überwindenden Reibung ist die Reibung an der Axe der Räder, und da auch diese desto leichter überwunden wird, je gröſser die Räder sind in Vergleichung gegen die Dicke der Axen, so sind die höhern Räder in allen Rücksichten zur Ueberwindung der Reibung vortheilhaft. Daſs sie dem Fuhrwerke zugleich etwas mehr Schwankendes geben und die Gefahr des Umwerfens vermehren, ist eine nicht hierher gehörende Betrachtung. Um die Gröſse des gesammten Widerstands bei den gewöhnlichen Wagen zu beurtheilen, giebt Babbage Folgendes an. Die zum Ziehen eines 2350 Pfund schweren Wagens nöthige Kraft ist = 33 Pfund (also 0,014) auf vollkommen gut gepflasterten Straſsen, wogegen auf Chausseen die nöthige Kraft doppelt so groſs und, wenn sie mit neuen Kieseln beschüttet sind, $4\frac{1}{2}$ mal so groſs ist. Nach von Gerstner muſs man 40 bis 120 Pfund Kraft auf 1000 Pfund Gewicht zum Ziehen des Wagens auf Chausseen rechnen; auf Eisenbahnen dagegen nur 6 Pfund auf 1000 Pfund Belastung[1].

III. Reibung der Seile.

Eine besondere Betrachtung verdient noch die Reibung eines Seils, das um einen unbeweglichen Cylinder gewickelt ist. Um die Betrachtung zu erleichtern, fange ich damit an, statt des Cylinders einen prismatischen Körper HKLMN an-
Fig. 245. zunehmen, um dessen Seiten HK, KL, LM, MN das Seil gelegt ist, welches am Ende bei G das Gewicht = P trägt. Das Seil leidet an der Oberfläche eine Reibung, die aus dem in irgend einem Puncte gegen die Axe gerichteten Drucke = Q durch fQ bestimmt wird, wenn f, ebenso wie bisher, der Reibungscoefficient ist. Nehmen wir nun an, das Seil müſste in der Richtung LM mit der Kraft = T gehalten werden, so wird diese Kraft in $T + \Delta T$ übergehn, wenn das Seil auch noch über die Seite MN fortgeht, und

1 v. Gerstner Handb. d. Mechan. I. 596. 617. Vergl. *Rad*, Wagenrad.

offenbar ist die Spannung des Seils von M nach L = T, von M nach N = T + ΔT. Es sey der zwischen den Senkrechten CR, CS liegende Centriwinkel = $\Delta\varphi$, so ist der aus jenen Spannungen entstehende Druck gegen den Mittelpunct $= 2T.\text{Sin.}\tfrac{1}{2}\Delta\varphi + \Delta T.\text{Sin.}\tfrac{1}{2}\Delta\varphi$, wenn das Polygon gleichseitig ist, und die entstehende Reibung $= (2fT + f\Delta T)\,\text{Sin.}\tfrac{1}{2}\Delta\varphi$, und diese ist offenbar $= \Delta T$, da die auf MN nöthig gewordene gröſsere Spannung nur daraus, daſs die Reibung noch überwunden werden muſs, hervorgeht. Hieraus würde für jeden prismatischen Körper T gefunden; aber für den Cylinder ist offenbar $dT = fT\,d\varphi$ und folglich, wenn e die Grundzahl der natürlichen Logarithmen bedeutet, $T = P\,.\,e^{f\varphi}$, wo die constante Gröſse schon so bestimmt ist, daſs für $\varphi = 0$, T = P wird.

Diese Formel zeigt, wie sehr die Kraft, welche das Gewicht heraufziehn soll, wachsen muſs. Es sey $f = \tfrac{1}{4}$, also die Reibung nur ein Viertel des Drucks, so würde für ein Seil, das um 57° 18′ des Cylinders gewickelt wäre,

$$T = P.\sqrt[4]{e} = 1{,}2840\ P,$$
$$\text{für } \varphi = 90° = 1{,}5708;\ T = P.1{,}4810,$$
$$\text{für } \varphi = 180° = 3{,}1416;\ T = P.2{,}0615,$$
$$\text{für } \varphi = 360° \quad T = P.4{,}8105,$$
$$\text{für } \varphi = 540° \quad T = P.10{,}551,$$
$$\text{für } \varphi = 720° \quad T = P.23{,}141.$$

Will man also eine Last von 100 Pfunden heben, so braucht man bei einer ganzen Umwickelung 481 Pfund, bei zwei ganzen Umwickelungen 2314 Pfund, bei drei ganzen Umwickelungen 11131 Pfund. Ein sehr geringes Gewicht = P hält also nach einigen Umwickelungen des Seils einer überaus groſsen ziehenden Kraft das Gleichgewicht, ein einziges Pfund = P bei sechs Umwickelungen einer Kraft T = 12300 Pfund.

Wenn der Cylinder um seine Axe C beweglich ist, so bedarf es einer viel geringern Kraft, indem dann das nach der Richtung MT gezogne Seil den Cylinder dreht und nicht über der Oberfläche desselben fortgezogen zu werden braucht. Der dann noch übrig bleibende Widerstand ist fast allein der Steifheit des Seils, sofern nämlich die in eine neue Krümmung gezwungenen Theile einen Widerstand leisten, zuzu-

schreiben. Wenn indeſs der Cylinder sich nicht ganz frei dreht, so kann ein Theil des vorhin betrachteten Widerstands der Reibung übrig bleiben, und theils davon, theils von der Reibung an den Axen der Rollen hängt der groſse Widerstand ab, den man bei Flaschenzügen findet. Wie groſs dieser ist, erhellt aus Versuchen, unter denen ich nur einen von von Gerstner angestellten anführen will[1]. Es wurde ein Flaschenzug von zwei Rollen oben und zwei Rollen unten, der durch öftern Gebrauch und gehöriges Einschmieren gut vorbereitet war, angewandt. Die beiden gröſsern Rollen hatten 23 Lin. Halbmesser, die beiden kleinern 18,5 Lin., die Axe 3,5 Lin. An dem untern Rollenzuge hingen 50 Pfund, aber da dieser selbst 10 Pfund wog und das Gewicht der 4 Seile 12 Pfund betrug, so war eine Last von 72 Pfund zu heben. Man brachte nun am fünften Seile Gewichte an, bis eine gleichförmige Bewegung erfolgte, und fand hierzu 25 Pfund nöthig. Um aber auch den umgekehrten Versuch zu machen, verminderte man dieses Zuggewicht so lange, bis die Last von 72 Pfund gleichförmig sank, und fand jenes Zuggewicht alsdann = 9 Pfund. Da ohne Reibung das Zuggewicht 18 Pfund hätte seyn müssen, so läſst sich hieraus die Reibung beurtheilen[2]. Weitere Anwendungen auf Maschinen kann ich hier nicht mittheilen.

B.

Reif.

Pruina; Givre, Gelée blanche, Frimas; *Hoarfrost, Rime.*

Der Reif ist dem Wesen nach nichts anderes, als ein feiner gefrorner Thau; der Process seiner Bildung fällt also mit dem des Thauens zusammen, und da das letztere Phänomen bei weitem am meisten untersucht worden ist, so verspare ich alle theoretischen Untersuchungen bis auf diesen Artikel und theile hier bloſs die wichtigsten Thatsachen mit.

Von der einen Seite grenzt der Reif an das Glatteis, indem beide einen gefrornen Ueberzug über die verschiedensten

1 Handb. d. Mechanik. I. 512.

2 Vergl. Coulomb in der oben angeführten Abh. S. 323.

Gegenstände bilden, unterscheidet sich jedoch von diesem dadurch, daſs er keine glatte Decke bildet[1], sondern aus lauter sehr feinen Eiskrystallen besteht, die mitunter fest, zuweilen aber nur sehr locker an den Gegenständen hängen; seine Verwandtschaft mit dem Thaue wird aber dadurch beurkundet, daſs diejenigen Körper, welche am stärksten bethaut werden, die gröſste Menge Reif aufzunehmen pflegen, auch sind heitere und windstille Nächte bei ruhiger Luft und klarem Himmel für beide Niederschläge am meisten geeignet. Scheuchzer[2] hielt bereits den Reif für nichts anderes, als gefrornen Thau, noch mehr aber wird diese Ansicht durch die Beobachtungen Wilson's[3] unterstützt, wonach Sand und sonstige Substanzen, selbst auch der Schnee bei heiterem Himmel mehrere Grade kälter sind, als die Luft, und daſs dieses nicht nach der Ansicht von Black eine Folge der Verdunstung seyn kann, weil dann vielmehr die Feuchtigkeit von auſsen aufgenommen wird. Bei bewölktem Himmel fand er eben diese Gegenstände wärmer, so daſs sie dann vielmehr die auf ihnen befindliche Feuchtigkeit zum Verdunsten brachten. Hiermit übereinstimmend giebt Brisson[4] an, daſs diese Art von Reif dann entsteht, wenn die Luft über 0° C. warm, die Erdoberfläche aber und die mit ihr verbundenen Gegenstände unter diesen Punct erkaltet sind. Allerdings ist es richtig, daſs die Bildung des Reifs nicht selten dann statt findet, wenn die Luft nicht bis zum Gefrierpuncte erkaltet ist, dennoch aber kann dieses nicht als allgemeine Regel gelten, vielmehr findet dieses Phänomen auch dann nicht selten statt, wenn sowohl die Luft als auch die Erdoberfläche unter diese Temperatur erkaltet sind, wobei die der letztern immerhin die niedrigste seyn mag.

Auſser diesem Reife, welchen die Franzosen *Gelée blanche*, die Engländer *Rime* nennen, giebt es noch eine andre Art, die in einigen Gegenden des nördlichen Deutschlands durch *Rauhreif* oder *Rauhfrost* (*Givre*, *Frimas*; *Hoar-Frost*)

---

1 Vergl. Art. *Glatteis*. Bd. IV. S. 1601.

2 Naturgeschichte des Schweitzerlandes. Th. III. S. 20.

3 Edinb. Phil. Trans. T. I. p. 146. Daraus in Bibl. Brit. T. VI. p. 305.

4 Dict. rais. de Phys. Art. gelée blanche.

Digitized by Google

bezeichnet wird und gleichfalls aus kleinen Eiskrystallen besteht, womit insbesondere alle einzeln hervorragende dünne Körper, namentlich Pflanzenstengel und kleine Baumäste, bis zu bedeutender Dicke überzogen sind. Gehler leitet die Entstehung dieser eigenthümlichen Art von den feinen Eistheilchen ab, die man zuweilen bei sehr starker Kälte und heiterem Himmel als glänzende Blättchen in der Luft schwebend wahrnimmt und die sich allerdings, wenn sie in bedeutender Menge gebildet werden, auf einzelnen hervorragenden Gegenständen bis zu bedeutenden Höhen auflagern, allein diese bilden im Kleinen den *Staubschnee*, welcher in hoch nördlichen Gegenden in sehr groſser Menge herabzufallen pflegt. Weit richtiger beschreibt Kämtz[1] dieses Phänomen. Wenn nämlich auf länger dauernde Kälte wärmere Luftschichten herbeigeführt werden, so schlägt sich der Wasserdampf derselben mit Leichtigkeit auf allen Körpern nieder und bildet, wenn namentlich einige Spinnenfäden einen Anhaltpunct darbieten, die mit feinen Krystallen überzognen Fäden, die wir dann von den Aestchen der Bäume und sonst auch in Menge herabhängen sehen. Am häufigsten erinnere ich mich noch lebhaft, dieses beschwerliche Phänomen in frühester Kindheit im kalten Winter 1788 beobachtet zu haben, als die die Bildung dieses Reifs begünstigende Luft selbst in die verschlossenen Gemächer der Wohnungen eindrang und alle Gegenstände mit Eiskrystallen dieser Art überzog, obgleich die Temperatur in solchen Räumen Monate lang den Gefrierpunct nicht erreichte. Diese Art Reif entsteht allerdings auch bei hellen Nächten, aber sehr häufig zugleich bei vorhandenen dünnern oder dickern Nebeln, und es werden dann die blendend weiſsen Ueberzüge gebildet, welche bartartig auf den Seilen der Schiffe vorhanden sind, wenn der Wind die Nebeltheilchen ihnen von allen Seiten zuführt[2]. Zu dieser Art von Reif gehört auch die Anhäufung von feinen Krystallen, womit in massiven Häusern bei wiederkehrender Wärme nach anhaltender starker Kälte die Wände oft bis zu bedeutender Dicke überzogen werden; weniger möchte ich denjenigen Ueberzug dazu rechnen, welcher sich dann auf den äuſsern

1 Lehrbuch der Meteorologie. Halle 1833. Th. I. S. 363.

2 Scoresby Reise auf den Wallfischfang. Ueb. von Kries. S. 92.

Flächen der Mauern anlegt, indem dieser meistens eine glattere Oberfläche zu haben pflegt und daher eigentlicher dem Glatteise beizuzählen seyn dürfte. Eine gleiche Bewandtniſs hat es mit dem eisigen Ueberzuge, welcher an den äuſsern Wandungen derjenigen Gläser gebildet wird, die mit kaltmachenden Mischungen erfüllt sind, und den namentlich Nollet[1] zu diese Classe zählt; allein da die krystallinische Form das eigentliche Wesen des Reifs ausmacht, so kann dieses nicht ohne Einschränkung geschehn. Ist nämlich die umgebende Luft sehr feucht und die im Glase erzeugte Kälte nicht sehr stark, so werden die äuſsern Wände mit einer groſsen Menge Feuchtigkeit bedeckt, die allmälig zu einer eigentlichen, mitunter glatten, Eisrinde gefriert, unter andern Bedingungen besteht indeſs der Ueberzug aus ganz eigentlichen kleinen Krystallen. Vorzüglich schön und von sehr blendender Weiſse zeigen sich diese namentlich, wenn man ein Haarröhrchen in ein Gläschen mit Schwefelkohlenstoff senkt, so daſs diese Flüssigkeit bis an das Ende des Röhrchens steigt, wo sie durch Verdunstung eine solche Kälte erzeugt, daſs eine Menge Reif sich bartartig daselbst ansetzt.

Nach den bisherigen Betrachtungen unterscheidet sich also der Reif von den übrigen Eisbildungen dadurch, daſs er aus lauter kleinen, auf den Körpern festsitzenden Krystallen besteht, die aus feinen Wassertheilchen auf jenen gebildet, nicht aber, wie der Schnee, in der Atmosphäre erzeugt und von da herabgefallen sind. Betrachtet man beide Arten von Krystallen, die im Reif und die im Schnee vorkommenden, genauer, so zeigt sich die vollkommenste Uebereinstimmung beider, wonach man nicht bloſs auf gleiche Bestandtheile, sondern auch auf einen gleichartigen Ursprung zu schlieſsen berechtigt ist. Beide entstehn auch wirklich, indem der in der Luft befindliche Wasserdampf ausgeschieden wird und in kleinen Quantitäten allmälig vergröſserte Krystalle bildet, der Schnee in der unter 0° C. erkalteten Luft, der Reif an Körpern, deren Temperatur gleichfalls unter diesen Punct herabgegangen ist, und auf gleiche Weise sind die Krystalle beider um so viel feiner und also auch nach optischen Gesetzen ihre Anhäufungen von um so viel mehr blendender

1 Leçons de Phys. T. III. p. 362.

Digitized by Google

Weiſse, je geringer die Quantität des in der Luft vorhandenen Dampfs und je tiefer die Temperatur ist, wodurch die Bildung höchst feiner Krystalle bedingt wird. Diesemnach zeigt sich der Staubschnee und der feine Reif, welcher in kalten Wintern bei heiterer Atmosphäre gebildet wird, von schönster Weiſse, beide aber erscheinen mehr grau, wenn der Schnee aus dicken Wolken in groſsen Flocken herabfällt, der Reif aber bei vorhandenem Nebel entsteht.

Auch die bekannte Eisbildung an den Fensterscheiben[1] ist eine der Entstehung des Reifs analoge Erscheinung, desgleichen die weiſsen Bedeckungen mit feinen Eiskrystallen, die sich auf den Flächen metallischer Körper anhäufen, welche, aus wärmern Räumen durch Wände durchgehend, mit dem andern Ende dem Einflusse einer starken Kälte ausgesetzt sind. Auſserdem hat man Gelegenheit, die Bildung des Reifs aus der warmen und feuchten Luft zu beobachten, die bei strenger Winterkälte, zuweilen selbst als eigentlicher feiner Nebel, aus Brunnen, Kellern und tiefen geräumigen Höhlen aufzusteigen pflegt.

M.

R h o d i u m.

Rhodium; Rhodium; *Rhodium.*

Von Wollaston 1804 im Platinerze entdeckt, worin es nur zu 1 bis 3 Procent enthalten ist.

Stahlgraues, hartes und sprödes Metall von 11,2 spec. Gewicht, nur im Knallgasgebläse schmelzbar.

Es hat 2 salzfähige Oxyde: das *Rhodiumoxydul* (52,2 Rhodium auf 8 Sauerstoff) entsteht als schwarzes Pulver bei kürzerem Glühen des fein vertheilten Rhodiums an der Luft. — Das *Rhodiumoxyd* (52,2 Rhodium auf 12 Sauerstoff) ist in *trocknem* Zustande ein schwarzes, im *gewässerten* ein braunes Pulver und bildet mit Säuren gelbe Salze, durch Eisen, Kupfer und Quecksilber, nicht durch Silber metallisch fällbar.

Das Einfach-Chlor-Rhodium ist grauroth, nur in starker Glühhitze zersetzbar, nicht in Wasser löslich; das *Fünfviertel-Chlor-Rhodium* ist ein blaſsrosenrothes, weder in

1 Vergl. *Eis.* Bd. III. S. 105.

Digitized by Google

Wasser noch in Salzsäure lösliches, Pulver; das *Anderthalb-Chlor-Rhodium* erscheint schwarzbraun, löst sich in Wasser mit rother Farbe und giebt mit Salmiak, mit Chlorkalium und mit Chlornatrium dunkelrothe, krystallinische Verbindungen. Das *Schwefelrhodium* ist bläulich weiſs und schmelzbar.

G.

Ringkugel.

Armillarsphäre; *Sphaera armillaris*; Sphère armillaire; *armillary sphere*; ist eine Zusammensetzung aus Ringen, welche die wichtigsten Kreise der Himmelskugel darstellen. Der nächste Zweck dieser Zusammensetzung ist, von der gegenseitigen Lage der Axe der himmlischen Bewegungen, des Aequators, der Ekliptik und andrer Kreise eine richtige Vorstellung zu geben, so daſs durch die Ringkugel die Himmelskugel zum Theil ersetzt wird und diese nur den Vorzug hat, auch noch die Gestirne darzustellen, wogegen bei der Ringkugel die Lage dieser Kreise gegen die in ihrer Mitte angebrachte kleine Erdkugel etwas mehr versinnlicht wird.

Man stellt die Ringkugel ebenso, wie den Erd- oder Himmelsglobus, auf einem festen Horizonte AB auf, welcher Fig. 246.
den Meridian in zwei einander gegenüberliegenden Einschnitten A, B so aufnimmt, daſs er eine gegen den Horizont senkrechte Stellung hat und daſs, wenn er unten auf dem dort angebrachten Einschnitte aufliegt, sein Mittelpunct mit dem Centrum des Horizonts zusammenfällt. Indem nun dieser Meridian PDRM sich in den Einschnitten verschieben läſst, kann man jeden Punct in die höchste Stellung Z, die das Zenith vorstellt, bringen. In diesem Kreise sind die Pole P, R, als Endpuncte der Axe, um welche sich die beweglichen Theile der Ringkugel drehen lassen. Sie stellen die Pole der Himmelskugel vor, und man giebt daher, um die Ringkugel für irgend einen Ort richtig zu stellen, dem einen derselben die Höhe über dem Horizonte, welche der Polhöhe des Ortes gemäſs ist, und die Gradtheilungen auf dem Meridiane machen es leicht, diese richtige Stellung zu finden. Mit dieser Drehungsaxe verbunden und also innerhalb des Meridians beweglich sind die vier gröſsten Kreise,

Digitized by Google

welche den Aequator, die Ekliptik und die beiden Koluren vorstellen. In der Figur ist die Stellung so gewählt, daſs die Durchschnittspuncte der Ekliptik mit dem Aequator im Horizonte stehn, also auch der Kolur der Nachtgleichen den Horizont in eben dem Puncte schneidet, wogegen der Kolur der Solstitien mit dem Meridiane zusammentrifft und daher auch die gröſste Abweichung der Ekliptik vom Aequator im Meridiane steht. Die Ekliptik pflegt an der Ringkugel durch eine breitere Ringfläche, als einen erheblichern Theil der Kugeloberfläche darstellend, vorgestellt zu seyn, indem man so den ganzen Thierkreis und folglich den Theil des Himmels, wo der Mond und die Planeten stehn können, auf ihr abbilden kann. Bezeichnet man auf ihr den durch Länge und Breite gegebenen Ort des Monds oder eines Planeten, so kann man die diese Himmelskörper betreffenden Fragen hier so, wie an der künstlichen Himmelskugel, beantworten.

Mit diesen Kreisen, welche sich um die Weltaxe drehn lassen, ohne ihre gegenseitige Lage zu ändern, sind auch noch vier dem Aequator parallele Kreise verbunden, welche die beiden Wendekreise und die beiden Polarkreise vorstellen. Die erstern beiden sind um $23\frac{1}{2}^{\circ}$ vom Aequator, die letztern beiden ebenso weit von den Polen entfernt und jene berühren daher die Ekliptik in den beiden Solstitialpuncten, diese dagegen gehn durch die Pole der Ekliptik.

Endlich ist auch um den Pol als Mittelpunct auf dem Meridiane noch ein Kreis, der Stundenring, befestigt, dessen Gebrauch derselbe wie bei der künstlichen Himmelskugel ist.

Um die Sonne darzustellen, pflegt man einen kleinen Körper anzubringen, der an einem um den Pol der Ekliptik bewegbaren Bügel befestigt ist, damit dieses Bild der Sonne an jeden Punct der Ekliptik, wo man es bei Auflösung einer bestimmten Aufgabe verlangt, gestellt werde. Ebenso bringt man ein Bild des Monds an; damit aber dieses die Mondbahn an dem hier dargestellten Theile des Himmels durchlaufe, muſs der Bügel, an dem es befestigt ist, seine Axe 5° vom Pole der Ekliptik entfernt haben und die Einrichtung muſs so gemacht seyn, daſs man diese Axe in die dem Pole der Mondbahn für einen bestimmten Zeitpunct entsprechende Lage bringen könne.

Digitized by Google

Die ältern Astronomen bedienten sich der Ringkugel zu wirklichen Beobachtungen. Eratosthenes soll sie zuerst in Gebrauch gebracht haben und Hipparchus und Ptolemaeus machten an derselben ihre Beobachtungen. Um das Instrument zu gebrauchen, stellte man mit möglichster Sorgfalt den Aequator mit der Ebene des Aequators am Himmel parallel oder brachte die Axe in Uebereinstimmung mit der Weltaxe; man stellte nun die Ekliptik mit dem Aequator so, wie es dem Augenblicke der Beobachtung gemäſs war, und richtete dann einen um die Pole der Ekliptik beweglichen Kreis, auf welchem Absehen, um nach einem Sterne zu visiren, angebracht waren, gegen diesen Stern zu. Der Punct, wo dieser Kreis in die Ekliptik einschnitt, gab die Länge des Sterns, der Abstandsbogen auf dem beweglichen Kreise gab seine Breite. Die Beobachtung läſst sich am besten anstellen, wenn man, etwa um die Stellung des Monds zu finden, den Ort der Sonne am Instrumente durch unmittelbares Visiren nach der Sonne in die richtige Stellung bringen konnte. Wollte man den Zeitpunct bestimmen, wo die Sonne sich im Aequinoctium befand, so stellte man das Instrument genau auf und beobachtete, wenn der Schatten der einen Hälfte des Aequators auf die andere fiel; fand dieses weder am gestrigen noch am heutigen Tage genau statt, sondern war die Sonne in der Nacht dazwischen durch die Nachtgleiche gegangen, so suchte man zwei Zeitpuncte zu erhalten, wo der Schatten das eine Mal nördlich, das andere Mal südlich gleich viel von der Richtung der Ebene des Aequators abwich, und konnte dann die in der Mitte zwischen jenen Beobachtungen liegende Zeit als Zeit der Nachtgleiche ansehn. Die Unvollkommenheit dieser Beobachtungen erhellt leicht, jedoch waren sie für jene Zeiten schon von groſsem Werthe. Tycho de Brahe führte zuerst genauere Hülfsmittel zur Beobachtung ein. *B.*

Röhre.

Täuchel (bei Wasserleitungen); *Tubus;* Tube, Tugeau; *Tube, Pipe.*

Es scheint mir überflüssig, eine Definition von dem Worte

Digitized by Google

Röhre zu geben, da der Sprachgebrauch den Begriff einmal so fest gestellt hat, daſs niemand deswegen in Verlegenheit kommen kann, und auch selbst da wird letztere kaum eintreten, wo es schwerer zu bestimmen ist, ob man ein gegebenes Object einen hohlen Cylinder, einen Schlauch oder eine Röhre nennen soll. Von letztern beiden unterscheidet sich indeſs die Röhre, insofern ein *hohler Cylinder* kürzer, ein *Schlauch* von kantiger Oeffnung, oder bei runder Oeffnung und sonstiger röhrenförmiger Gestalt biegsam zu seyn pflegt. Uebrigens unterscheidet man bei allen diesen genannten Objecten die *Länge*, die *Weite* und die *Dicke der Wandungen*; auch gelten bei ihnen insgesammt die nämlichen Gesetze, weswegen es unnöthig seyn würde, von den einzelnen besonders zu handeln, und es daher genügt, die Untersuchungen bloſs auf die Röhren zu beziehen, die der Regel gemäſs von runder Bohrung angenommen werden. Der Durchschnitt der innern Höhlung heiſst bei Röhren ihre Weite im Lichten (*lumen*), die man allezeit versteht, wenn von der Weite derselben überhaupt die Rede ist. Drückt man diese in irgend einem Längenmaſse aus, so bezeichnet dieses den Durchmesser, und sie heiſsen *Haarröhren*, wenn dieser kleiner ist, als 0,1 Zoll. Ferner wird in der Physik meistens ausschlieſslich von *communicirenden* Röhren gehandelt; es scheint mir jedoch angemessener zu seyn, die Untersuchungen hier in gröſserer Allgemeinheit anzustellen. Hiernach darf angenommen werden, daſs die Röhren im Allgemeinen zur Aufnahme flüssiger Körper dienen, die dann in ihnen sich entweder im Zustande der Ruhe oder der Bewegung befinden. Selten dienen Röhren zur Aufnahme elastischer Flüssigkeiten für den Zustand der Ruhe, und wenn dieses der Fall ist, so werden die für alle sonstigen Gefäſse geltenden Regeln durch die eigenthümliche Beschaffenheit der Röhren nicht modificirt, weswegen es keine besondere Beziehung der Röhren auf die Aërostatik giebt; dagegen aber kommen diese sehr in Betrachtung, sobald es sich um das Fortflieſsen der elastischen Flüssigkeiten in ihnen handelt, welche Aufgabe jedoch oben im Art. *Pneumatik* ausführlich behandelt worden ist. Diesemnach kann hier also nur von den Röhren insofern die Rede seyn, als sie zur Aufnahme tropfbarer Flüssigkeiten dienen, die sich dann in ihnen entweder im Zustande der Ruhe oder der Be-

wegung befinden, wonach das Ganze in die Untersuchung der *statischen* und der *mechanischen* Gesetze zerfällt, die hierbei in Betrachtung kommen.

A. Hydrostatische Gesetze.

Die Röhren, welche Flüssigkeiten enthalten, sind entweder gerade oder gekrümmt; im erstern Falle gelten für sie alle diejenigen hydrostatischen Gesetze, welche ohne Rücksicht auf die Form der Gefäſse bereits nachgewiesen worden sind[1], im zweiten Falle kommen diejenigen in Betrachtung, die man in Beziehung auf *communicirende* Röhren abzuhandeln pflegt. Das hierfür gültige Gesetz, wonach *gleichartige Flüssigkeiten in communicirenden* (d. h. gekrümmten) *Röhren, wie auch deren ungleiche und ungleichförmige Weite und Gestalt seyn möge, mit ihren beiderseitigen Oberflächen in einer horizontalen Ebene liegen oder gleich hoch stehn*, ist gleichfalls bereits aus den allgemeinen Bedingungen des Gleichgewichts tropfbarer Flüssigkeiten entwickelt[2], auch sind zahlreiche Anwendungen davon bei der Beschreibung des *Hebers*, der *hydrostatischen* und *hydraulischen Pressen*, des *follis hydrostaticus* von s'Gravesande, des *tubus Volderianus* u. s. w. gemacht worden; es kommt also hier bloſs darauf an, zu untersuchen, wie man diesen Hauptgrundsatz der Hydrostatik in specieller Beziehung auf die sogenannten communicirenden Röhren behandelt hat.

Mariotte[3] theilt einen allgemeinen Beweis dieses hydrostatischen Hauptsatzes mit, welcher jedoch auf das Maſs der Kräfte oder Bewegungen nach Cartesius und auf die Theorie der geneigten Ebene gegründet ist und daher zunächst nur für feste Körper gilt, folglich bei der Anwendung auf Röhren von willkürlicher Gestalt zu vielen Weitläuftigkeiten führen müſste. Daniel Bernoulli[4] gründete daher den Beweis auf den Satz, daſs die Oberfläche flüssiger Körper in jedem Behältnisse waagerecht seyn muſs, gegen dessen

---

1 *Hydrostatik.* Bd. V. S. 579.

2 Ebendaselbst S. 581.

3 Traité du mouvement des Eaux. IIme Part. In: Oeuvres de Mariotte. À Leide 1716. 2 T. 4. T. II. p. 365.

4 Hydrodynamica. Sect. II. §. 3.

Digitized by Google

geometrische Gültigkeit D'ALEMBERT[1] Einwendungen machte, weswegen KÄSTNER[2] vorzieht, denselben unmittelbar als durch die Erfahrung gegeben anzusehn. Inzwischen führen auch D'ALEMBERT und EULER[3] den Beweis auf einen Erfahrungssatz zurück, welchen ersterer für allgemein anerkannt und absolut begründet hält, nämlich: „Wenn ein Gefäſs von beliebiger Gestalt mit einer flüssigen Materie ganz erfüllt ist „und man in diesem Gefäſse eine kleine Oeffnung macht und „an derselben die Oberfläche der flüssigen Materie drückt, so „verbreitet sich dieser Druck gleichförmig nach allen Richtungen und durch alle Theile der flüssigen Materie so, daſs „alle Puncte des Gefäſses nach der auf die Wände desselben „senkrechten Richtung mit einer Kraft gedrückt werden, welche der an der Oeffnung drückenden Kraft gleich ist.“ Es scheint mir indeſs, als ob es eines solchen Erfahrungssatzes gar nicht bedürfe, indem die bereits durch STEVIN[4], nachher durch DAN. BERNOULLI[5] und KÄSTNER gewählte Darstellungsart nur etwas modificirt weit sicherer und allgemeiner auf folgende Weise zum Ziele führt.

Daſs es sich bei der ganzen Untersuchung um schwere und zugleich flüssige Körper handle, darf wohl nicht als eines Beweises bedürfend angesehn werden, weil dieses nichts anders als eine vorläufige Bestimmung und Feststellung der Begriffe ist, die bei der ganzen Betrachtung zu berücksichtigen sind. Dieses vorausgesetzt folgt aus der Bedingung der *Schwere* von selbst, daſs jedes Theilchen einer tropfbaren Flüssigkeit sich dem Centrum der Erde möglichst nähern oder den tiefsten Punct einnehmen werde, den es zu erlangen vermag. Wird dann zugleich die Flüssigkeit, also die Eigenschaft berücksichtigt, vermöge welcher auch die feinsten physisch darstellbaren Elemente dieser Körper ohne meſsbare Reibung übereinander hingleiten und sich um einander bewe-

---

1 Traité de l'équilibre et du mouvement des fluides. À Paris 1744. 4. §. 18.

2 Anfangsgründe d. angewandten Math. 3e Aufl. Gött. 1780. 3. Hydrost. §. 6.

3 Mém. de l'Acad. des Sc. de Prusse. 1755.

4 Elementa hydrost. petit. 7.

5 Comment. Petrop. T. IV. p. 194.

Digitized by Google

gen, so folgt hieraus, daſs für den Zustand der Ruhe kein einzelnes meſsbares Theilchen höher liegen kann, als die umgebenden, woraus dann die Herstellung des ebenen Meeresspiegels, als einer die eigentliche Begrenzung der Erde gebenden Ebene, von selbst folgt. Da ferner diese nämlichen Gesetze in Anwendung kommen, die das Wasser einschlieſsenden Wandungen mögen nahe oder entfernt seyn, so gilt dieser Satz auch für jedes Gefäſs, welches daher bei willkürlicher Gestaltung von jeder Flüssigkeit bis zu deren Oberfläche ganz erfüllt seyn und in letzterer eine waagerechte Ebene, einen *künstlichen Horizont*, bilden muſs. Nehmen wir dann ein willkürliches Gefäſs A B an, welches bis zum Niveau a b mit einer Flüssigkeit angefüllt ist, und denken uns in diesem die willkürlich gestalteten Grenzen $\alpha\varepsilon mn\varkappa\delta$ und die andere Grenzlinie des Durchschnitts $\beta\varrho o\eta\gamma$, so kann hierdurch das Niveau nicht geändert werden, auch wenn statt der durch die Flüssigkeit bestehenden Begrenzung eine andere aus einem festen Körper gegeben wird. Hierdurch ist also der Beweis für den Zustand der Ruhe gegeben, daſs der kleinere Cylinder $\alpha\varepsilon\varrho\beta$ dem gröſsern $\gamma\eta\varkappa\delta$ das Gleichgewicht halten muſs, weil die aufgestellte Behauptung ebenso gut für ein ursprüngliches Niveau $\varepsilon\varkappa$ als a b gilt. Rücksichtlich der Bewegung können die angenommenen geometrischen Grenzen ebenso gut in der bewegten als in der unbewegten Flüssigkeit gedacht werden und muſs also eine Herstellung des waagerechten Niveaus ebensowohl in jener als auch in dieser statt finden. Dazu kommt, daſs der kleine Wassercylinder $\alpha\varepsilon\varrho\beta$ den gröſsern $\gamma\eta\varkappa\delta$ nur zu einer dem Verhältnisse ihres Inhalts umgekehrt proportionalen Höhe heben wird, so daſs also, wenn die Massen durch m und M, die Höhen durch H und h bezeichnet werden, die mechanischen Momente m H und M h einander gleich sind. Auf diese Weise findet auch die Aufgabe über die ihren specifischen Gewichten umgekehrt proportionale Höhen ungleichartiger Flüssigkeiten in communicirenden Röhren Erledigung, die bereits an einem andern Orte untersucht worden ist[1].

Fig. 247.

---

1 Art. *Hydrostatik*. Bd. V. S. 586. Hube Vollständ. und faſslicher Unterricht in d. Naturlehre Th. I. S. 170. will diesen Satz aus der Elasticität des Wassers folgern, allein Gehler hat bereits die Unzu-

Eine bei den Röhren hauptsächlich in Betrachtung kommende Frage ist die, wie dick ihre Wandungen seyn müssen, wenn sie einem gegebenen Drucke Widerstand leisten sollen. Hierbei versteht sich von selbst, daſs der Druck des Wassers gegen die innern Wandungen diejenige Last giebt, welcher die Cohäsion der Röhren Widerstand leisten soll, wonach also die Dicke jener Wandungen der Cohäsion der dazu verwandten Körper proportional seyn muſs. Der Druck gegen ein einzelnes Element der Fläche irgend eines Gefäſses, und also auch einer Röhre, kann nicht stärker und nicht schwächer seyn als derjenige, welcher erfordert wird, um das Wasser in einer Röhre, deren untere Weite dem gegebenen Elemente gleich ist, bis zu derjenigen Höhe zu heben, welche das Wasser in dieser erreichen würde, mithin beim Stillstande der Flüssigkeit bis zum Spiegel des drückenden Wassers. Es kommt also auch hierbei der allgemeine hydrostatische Grundsatz in Anwendung, daſs der Druck gegen eine gegebene Fläche einem Wassercylinder von der Basis dieser Fläche und der Höhe vom Schwerpuncte derselben bis zum Wasserspiegel gleich ist, ohne daſs die Weite des Gefäſses oder der Röhre in Beziehung auf diese Fläche in Betrachtung kommt, mögen dieselben enge oder von der Ausdehnung des Weltmeeres seyn. Die Bedingungen ändern sich aber, wenn man berücksichtigt, daſs der gedrückte Flächentheil von den angrenzenden Flächentheilen gehalten werden muſs, welche gleichfalls dem Drucke der Flüssigkeit ausgesetzt sind, wonach also die Summe dieser Pressungen das Gefäſs zu zerreiſsen strebt, welches der hierdurch erzeugten Kraft durch seine Cohäsion Widerstand leisten muſs. Denkt man sich also aus einer Röhre einen schmalen Ring ausgeschnitten, so wird die Summe jener Pressungen der Menge der hierin enthaltenen gleich groſsen Elemente, also der Gröſse des Umfangs oder dem Halbmesser proportional seyn. Dieser Satz läſst sich am einfachsten an-

---

lässigkeit dieses Beweises und die in demselben verborgen liegende Verwechselung der Begriffe von Flüssigkeit und Federkraft genügend nachgewiesen. S. Alte Ausg. Th. V. S. 766. Ueber die Meinungen von Euler, Lambert und Jac. Bernoulli, welche in dem Aufsteigen des Wassers in communicirenden Röhren gleichfalls einen Beweis seiner Elasticität finden wollten, s. Nov. Act. Pet. T. VI. p. 186.

Digitized by Google

schaulich machen, wenn man ihn an einem Polygone nachweist. Zu diesem Behufe diene das Sechseck ABCDEF, Fig. 248.
gegen dessen Winkelpuncte die Kräfte P, Q, R, S, T, V vom Centrum O aus drücken. Nimmt man hiervon die eine PO und den Punct y, um die Kraft zu bestimmen, mit welcher P hiergegen drückt, so ziehe man das Parallelogramm Axyz, und da die Kraft P nebst den Pressungen der Seiten AB und AF im Gleichgewichte sind, so verhalten sie sich, wie die drei Linien Ay, Az, xy oder, bei der Gleichheit der Dreiecke, wie AB, OB, OA, welche Demonstration für die übrigen Seiten gleichfalls gilt. Heiſsen also die Spannungen der Seiten AB, BC, CD, DE, EF, FA = x, g, h, k, l, z, so erhalten wir

$$P:Q:R:S:T:V = x:g:h:k:l:z,$$

$$AB:BC:CD:DE:EF:FA = OB:OC:OD:OE:OF:OA,$$

und da alle diese gleich sind,

$$P+Q+R+S+T+V : x = AB+BC+CD+DE+EF+FA : OB.$$

Hieraus folgt, daſs alle Theile des Polygons einen gleichen Druck auszuhalten haben und daſs die Summe aller dieser Pressungen sich zu der gegen eine Seite verhält, wie der Perimeter des Polygons zum Halbmesser des umschriebenen Kreises. Wird dieses Resultat mit den übrigen bekannten hydrostatischen Gesetzen vereint, so ist *die Stärke des Drucks gegen die Wandungen der Röhren im zusammengesetzten Verhältnisse der Halbmesser und der Höhe nebst dem specifischen Gewichte der Flüssigkeiten*[1].

Gehn wir von dieser theoretischen Betrachtung zur praktischen Anwendung über, so lassen sich mit Benutzung anderweitiger bekannter Gesetze die Regeln leicht auffinden, wonach die

---

1 Vergl. hierüber die Lehrbücher der Hydraulik und Hydrodynamik, z. B. Langsdorf Lehrb. der Hydraulik. Altenb. 1794. §. 98. Brandes Lehrbuch d. Gesetze d. Gleichgewichts und d. Bewegung fester und flüssiger Körper. Leipz. 1817. Th. I. S. 184. Barlow in Encyclop. metr. Hydrodyn. p. 176. Leslie Elements of nat. Phil. T. I. p. 282 u. a. m. Barlow in Edinb. Journ. of Science N. IV. p. 293. beweist aus der Theorie, die durch die Erfahrung bestätigt seyn soll, daſs die Metallstärke bei gröſserem Durchmesser mehr als in diesem Verhältnisse zunehmen müsse, weil bei gröſserer Dicke des Rings der Druck die innere Lage desselben im Verhältnisse zur äuſsern stärker afficirt, als dieses bei dünnern der Fall ist.

Digitized by Google

Dicken der Röhren unter gegebenen Bedingungen bestimmt werden. Handelt es sich daher zuvörderst um die Statik der Flüssigkeiten, wonach also jeder Theil der Röhre einen der Höhe proportionalen Druck erleidet, so führen folgende etwas abgeänderte Betrachtungen zu dem gewünschten Resultate. Ist eine Röhre von einer beliebigen Substanz und einem Halbmesser $= r$ gegeben, so nimmt man von dieser einen Ring, der Bequemlichkeit wegen 1 Zoll hoch, und erhält dann die gedrückte Fläche $= 2 r \pi$ in Zollen, oder, wenn die Höhe des Rings allgemein b genannt wird, $= 2 r \pi b$. Ist dann das Gewicht eines normalen kubischen Maſses der Flüssigkeit P und die Höhe der Säule H, so ist der gesammte Druck gegen den Ring, dem die Cohäsion desselben an jeder Stelle Widerstand leisten muſs, $= 2 r \pi b P H$. Werden beide Gröſsen, sowohl dieser Druck, als auch die Cohäsion, oder, was einerlei ist, die absolute Festigkeit der zu den Röhren verwandten Substanzen in Pfunden ausgedrückt, und berücksichtigt man zugleich, daſs hierbei für die Praxis nur von genäherten Werthen die Rede seyn kann, mithin die Höhe H füglich in pariser Fuſs, P also für Wasser = 70 ℔. und b der Bequemlichkeit wegen = 1 Zoll genommen werden kann, um die im Art. Cohäsion[1] angegebenen Gröſsen unmittelbar in Anwendung zu bringen, so ist, wenn die Cohäsion $= C$ genannt wird, $2 r \pi \times 70 \times H = C$ für das Maximum der Haltbarkeit der verschiedenen Röhren. Für den Werth von $P = 70$ ℔. müſste r in Fuſsmaſs genommen werden, was für die Praxis unbequem ist, weswegen man besser r in Zollen und $P = \frac{70}{144}$ annimmt; ferner ist C für eine Querschnittsfläche von einem Quadratzoll gefunden, allein auch hierfür ist es bequemer, nach Linien zu bestimmen, und daher die aus der angegebenen Tabelle entnommenen Werthe von C durch 12 zu dividiren, um hierdurch sofort die Cohäsion eines Streifens von einem Zoll Breite und einer Linie Dicke zu erhalten. Endlich steht sowohl die Druckhöhe des Wassers als auch der Halbmesser der Röhren mit der erforderlichen Cohäsion der Röhrenwandungen im einfachen geraden Verhältnisse, und es ist also bloſs erforderlich, die einander zu-

1 Bd. II. S. 145.

gehörigen Gröſsen für eine gewisse Normalbestimmung zu berechnen, um diese dann sofort auf andere n oder $\frac{1}{n}$fache anzuwenden.

Diejenigen Substanzen, die man zu Wasserröhren zu verwenden pflegt, sind Guſseisen, Kupfer, Messing, Zink, Zinn, Blei, Glas, Holz und Thon. Von allen diesen ist die absolute Festigkeit bekannt, auſser beim Holze, wo man nur die nach den Lägenfibern untersucht hat, nicht aber nach dem Querschnitte derselben[1], die noch obendrein bei der veränderlichen Nässe und der ungleichen Festigkeit der verschiedenen Ringe solcher Stämme, die zu Röhrenleitungen genommen werden, kaum überhaupt bestimmbar ist. Die Angaben in der genannten Tabelle, durch 12 dividirt, also auf 1 Lin. Dicke reducirt, sind für Guſseisen = 5865 ℔, für Kupfer 2500, für Messing 1544, für Zink 242, für Zinn 291, für Blei 76, für Glas 234 und für Ziegelsteine, als annähernde Bestimmung für gebrannte thönerne Täuchel, = 24 ℔, wenn ich für alle diese Bestimmungen ungefähr die mittlern Werthe aus den dortigen Angaben wähle, mit Vermeidung insbesondere der bedeutend groſsen[2], und sie können daher als genähert richtig gelten, mit Ausnahme des für gegossenes Zink gefundenen, da das gewalzte gewiſs bedeutend stärker ist, desgleichen für Thon, indem gut gebrannte Röhren die Mauerziegel an Festigkeit sicher übertreffen. Nehmen wir also als Norm solche Röhren an, deren Durchmesser 2 Zoll beträgt, und die Dicke der Wandung zu 1 Linie, so wird durch Substitution des Zahlenwerths für π, und $r = 1$ genommen, aus der oben mitgetheilten Formel in

---

1 Nach Tredgold beträgt die Cohäsion eines Stabs Eichenholz von einem Quadratzoll Querschnitt 2316 ℔. S. Leslie Elem. of nat. Phil. I. 285. Allein ich mag diese Bestimmung, die für die Querrichtung der Fibern aufgefunden worden seyn soll und für den Zustand der Trockenheit auch richtig seyn kann, für nasses Holz aber sicher zu groſs ist, gar nicht in Anwendung bringen.

2 Für Eisen wird in der Praxis meistens nur etwa 20000 ℔, also nach der hier statt findenden Reduction $\frac{20000}{12} = 1667$ angenommen, allein ich habe dennoch 70380 ℔ als die aus den Versuchen folgende Bestimmung beibehalten, um Uebereinstimmung mit den übrigen zu erhalten.

Digitized by Google

hinlänglich genähertem Werthe $H = \frac{C}{3,06}$, wonach Röhren von der angegebenen Dimension aus folgenden Substanzen durch die zugehörigen Wasserhöhen in pariser Fuſs gerade bis an die Grenze ihres möglichen Widerstands kommen.

Eisen,	Kupfer,	Messing,	Zink,	Zinn,	Blei,	Glas,	Thon.
1916,	817,	504,	80,	95,	25,	76,	8.

Sollen diese Werthe in der Praxis benutzt werden, so ist zwar mit dem Zerspringen der Wasserröhren keineswegs eine gleiche Gefahr verbunden, als dieses bei solchen der Fall zu seyn pflegt, die zur Fortleitung des Wasserdampfs oder überhaupt elastischer Flüssigkeiten dienen, und man wird daher genügende Sicherheit erlangen, wenn man von der hier gefundenen Höhe nur den dritten Theil nimmt, ist aber in einem gegebenen Falle die Gefahr und der daraus entstehende Nachtheil bedeutend groſs, so müssen die erforderlichen Sicherheitsmaſsregeln hiernach abgemessen werden. Dabei wird jedoch vorausgesetzt, daſs die Dicke der Röhrenwandungen überall gleichmäſsig sey und sich keine dünneren Theile (sogenannte Fehlstellen) darin befinden, die sonst früher zerreiſsen müſsten, weswegen man die Röhren für bedeutende Anlagen vorher probirt, indem man vermittelst einer starken Presse das Wasser in ihnen bis zu einem Drucke preſst, welcher denjenigen in einem erforderlichen Verhältnisse übertrifft, den sie künftig auszuhalten haben.

Es giebt verschiedene, zum Theil durch Erfahrung gefundene, zum Theil aber nur nach allgemeinen Analogieen aufgestellte Bestimmungen über die Dicke der Röhrenwandungen im Verhältnisse zu ihren Durchmessern und den Wasserhöhen, denen sie Widerstand leisten können, für die verschiedenen am meisten gebräuchlichen Substanzen, von denen ich die wichtigsten mittheilen und mit denen aus den vorstehenden Bestimmungen vergleichen werde.

1) Nach Parent und Belidor[1] erfordert eine Bleiröhre von 12 Zoll Durchmesser 9 Linien Metalldicke für 60 Fuſs Druckhöhe; nach der obigen Bestimmung verträgt sie nur 37,5.

---

1 Langsdorf Lehrbuch der Hydraulik. S. 131.

2) Röhren von Compositionsmetall sollen bei jener Weite und 3 Linien Metalldicke einer gleich hohen Wassersäule Widerstand leisten; die obige Bestimmung giebt für Kupfer 408 und für Messing 252 Fuſs.

3) Nach Langsdorf widerstanden nicht vorzüglich gute guſseiserne Röhren 10 Zoll weit bei 1 Zoll Dicke der Wandungen der Erfahrung nach einer Wassersäule von 240 Fuſs hinlänglich und vermuthlich mit mehr als genügender Cohäsion; die Tabelle giebt 4598 Fuſs. Es wird auſserdem hinzugesetzt, die Dicke der Wandungen dürfe in diesem Falle nicht geringer als $\frac{2}{3}$ Zoll oder 8 Linien seyn, wofür die Tabelle 3065 Fuſs giebt.

4) Buchene Täuchel von 14 Zoll Weite und bei einer Länge von 2,5 Fuſs mit 4 starken eisernen Bändern beschlagen hielten bei 2,5 Zoll dicken Wandungen einen Druck von 240 Fuſs aus.

5) Fichtene Röhren von 6 Zoll Weite und bei 10 Fuſs Länge bloſs an den Enden beschlagen hielten 40 Fuſs Druck aus, eine bekam jedoch bei 50 Fuſs Druckhöhe einen Riſs an einer Stelle, wo die Dicke der Wandung nur 4 Zoll betrug, wonach also 4,5 oder 5 Zoll hierfür erforderlich sind.

Leslie[1] stellt eine der oben mitgetheilten ähnliche Formel auf, nimmt aber die Cohäsionskraft des Guſseisens für einen Quadratzoll Querschnitt nur zu 19096 ℔ an, und findet hiernach für eine Röhre von 15 Zoll Durchmesser und 8 Lin. Eisendicke die Höhe = 600 Fuſs und für eine von gleichem Durchmesser und $\frac{5}{4}$ Zoll Metalldicke 1000 Fuſs, statt daſs aus den obigen Bestimmungen für die erstere 2043, für die letztere 3832 Fuſs hervorgeht. Solche $\frac{5}{4}$ Zoll dicke Röhren wurden zu der Wasserleitung von den Pentland-Hills nach Edinburg verwandt und deswegen durch Jardine vorher probirt, wobei sie mehr als 800 Fuſs Druck aushielten, und man darf also für die praktische Anwendung von den mitgetheilten Bestimmungen dreist Gebrauch machen, wenn man sie auf den

1 Elements of nat. Philos. T. I. p. 284. Eine Reduction der verschiedenen Maſse finde ich überflüssig, da es hier auf scharfe Bestimmungen nicht ankommt und ohnehin die ungleichen Gröſsen, wenn die einander zugehörigen gleichzeitig in Anwendung kommen, einander ausgleichen.

Digitized by Google

dritten Theil ihrer wirklichen Gröſse reducirt. Die früher zu Comiston gebrauchten bleiernen Röhren hatten nur 4,5 Zoll Durchmesser und $\frac{3}{8}$ Zoll Metalldicke, wofür Leslie eine Druckhöhe von 172 Fuſs findet; nach der oben angenommenen Cohäsion des Bleis beträgt diese aber nur 80 Fuſs. Nach Tredgold soll die Cohäsion für einen Stab von einem Quadratzoll Querschnittsfläche bei Eichenholz nach den Querfibern 2316 ℔ betragen und daher eine Röhre von 15 Zoll Durchmesser und 2 Zoll Holzdicke einen Druck von 179 Fuſs aushalten, Erlenholz einen gleichen und Lerchenbaum halb so viel; allein es ist nicht wahrscheinlich, daſs diese Annahmen sich in der Erfahrung bestätigen würden.

Bei Gelegenheit des Probirens der guſseisernen Röhren zu Edinburg stellte Jardine[1] auch Versuche an mit bleiernen. Die zuerst hierzu verwandten hatten 1,5 Zoll im Durchmesser, $\frac{1}{5}$ Zoll Metalldicke, und widerstanden einem Drucke von 1000 Fuſs, wofür die obige Bestimmung nur 80 Fuſs giebt. Als der Druck fortgesetzt wurde, fing die Röhre bei 1200 Fuſs an zu schwellen und erhielt bei 1400 F. Druckhöhe einen scharfen, wie mit einem Messer gemachten Einschnitt. Eine zweite Röhre von 2 Zoll Durchmesser und $\frac{1}{5}$ Zoll Metalldicke hielt nur 800 F. Druckhöhe aus, statt daſs die obigen Bestimmungen nur 60 F. geben.

Eine Prüfung der hier mitgetheilten Erfahrungen führt zu folgenden Resultaten. Für guſseiserne Röhren übersteigt die theoretisch gefundene Druckhöhe die aus der Erfahrung entnommene bei weitem; allein die Versuche von Jardine geben nicht den Druck an, bei welchem die Röhren zerreiſsen, und hierüber kann ich überhaupt keine Bestimmungen auffinden; es ist daher immerhin möglich, daſs solche Röhren in der Wirklichkeit einen stärkern Wasserdruck, als den theoretisch gefundenen aushalten. Dieses ist nämlich ohne Widerrede bei den bleiernen der Fall. Hierfür habe ich zwar nur die geringste Angabe der Cohäsion dieses Metalls = 913 ℔ angenommen, aber auch dann, wenn ich die stärkste = 3934 ℔ nehme, die Musschenbroek für Bleidraht fand, so würde aus der oben angenommenen Normalgröſse statt 25 ℔ vielmehr 107

1 Aus Gill's technical Repository in Dingler's polytechn. Journ. XIX. 79.

und die mitgetheilten Bestimmungen von Belidor verwandelten sich aus 37,5 in 160, die von Leslie aus 80 in 342, also bedeutend mehr, als die angenommenen Gröſsen, nämlich die erstere = 60 und die letztere = 172 Fuſs; bei einer Vergleichung mit den Versuchen von Jardine bleibt aber die theoretische Bestimmung sehr hinter der durch Erfahrung gefundenen zurück, indem erstere für beide Fälle nur 342 und 257 Fuſs Druckhöhe, die letztere dagegen 1000 und 800 Fuſs giebt. Was der Grund einer so bedeutenden Abweichung sey, läſst sich vorläufig nicht ausmitteln, inzwischen folgt so viel, daſs die Cohäsionskraft der verschiedenen Körper dem Wasserdrucke vorzugsweise und stärker widersteht, als wenn sie durch anderweitige mechanische Mittel überwunden wird, vermuthlich weil bei der Anwendung der letztern einiges Beugen und Drehen nicht vermeidlich ist. Hiernach würden also die theoretischen Bestimmungen, um so mehr, wenn man nach Jardine nur ein Drittel derselben annähme, auch für die praktische Anwendung hinreichende Sicherheit gewähren, wenn nicht noch folgende Umstände dabei in Betrachtung kämen.

Nicht bloſs die Brunnenmacher, sondern auch Schriftsteller, als Bossut, Canchin u. a, nehmen an, daſs die oft in Röhren vorhandene Luft das Zersprengen derselben befördere. Hiergegen erinnert jedoch v. Langsdorf[1] mit Recht, daſs die Luft bloſs durch das Wasser zusammengepreſst wird und noch weicher ist, als dieses, daſs sie also auf keine Weise einen stärkern Druck auszuüben vermag. Die durch Erfahrung gegebene Sache muſs daher auf einem anderweitigen Grunde beruhn, und dieser kann kein anderer seyn, als daſs die in der Röhre sich ansammelnden und den Fluſs des Wassers in derselben durch die Verengerung verzögernden Luftblasen plötzlich in die Höhe steigen, so daſs der Wassercylinder eine schnellere Bewegung erhält und dadurch einen Stoſs gegen die Röhrenwandungen ausübt. Veranlassungen zu solchen Stöſsen des Wassercylinders giebt es noch andere, z. B. das plötzliche Verschlieſsen eines Hahns (Krahnen), die den Röhrenwandungen sehr gefährlich sind, weil sie nach v. Gerstner's richtiger Ansicht Veranlassung geben, daſs der fortflieſsende Wassercylinder nach Art eines hydraulischen Widders

1 Lehrbuch d. Hydraulik. S. 134.

Digitized by Google

wirkt. Mit Rückſicht auf dieſe möglichen Einflüſſe giebt Genieys[1], geſtützt auf die vielen Erfahrungen, die bei den Waſſerleitungen zu Paris und Verſailles gemacht worden ſind, für bleierne Röhren die Formel: $e = 0{,}005\, n.d + 0{,}0045$, worin e und d die Dicke der Wandungen und den Durchmeſſer der Röhren, n aber die Anzahl der Atmoſphären, jede zu 10 Meter, bezeichnen. Die hieraus gefundene Wanddicke = e ſoll dann in der Wirklichkeit aber nur etwa zum fünften Theile genommen, die Röhren aber ſollen vorher einer Probe auf das Ganze ausgeſetzt werden. Für eiſerne Röhren giebt derſelbe die Formel $e = 0{,}0007\, n.d + 0{,}01$. V. Gerstner hat die Reduction auf Fuſs und Linien für den wirklichen Gebrauch vorgenommen, und findet für bleierne Röhren von 2 Zoll Durchmeſſer bei 100 Fuſs Druck 4,22 Lin., für eiſerne aber bei gleichem Durchmeſſer und gleicher Höhe 4,86 Linien, wobei es auffallend iſt, warum die eiſernen bei kleinern Durchmeſſern eine gröſsere und bei gröſsern eine kleinere Dicke haben ſollen, als die bleiernen, denn bei 10 Zoll Durchmeſſer und 100 Fuſs Druckhöhe ſollen die bleiernen 12,92, die eiſernen aber nur 6,38 Lin. Metalldicke haben. Die obigen Beſtimmungen geben für dieſe Dimenſionen für bleierne Röhren 105,5 und 64,6 Fuſs Druckhöhe, für eiſerne aber 9311 und 2445 Fuſs.

Nehmen wir das Reſultat aller bisherigen Unterſuchungen zuſammen, ſo ergiebt ſich, daſs die oben angegebenen Beſtimmungen auch für die Praxis zuläſſig ſind, weil ſie auf richtigen phyſikaliſchen Grundſätzen beruhn. Sie können daher auch in der Anwendung benutzt werden, und Röhren, deren Stärke nach ihnen eingerichtet wäre, würden daher bei vollkommener Ruhe und ohne das Hinzukommen irgend einer ſonſtigen Gewalt dem berechneten Waſſerdrucke allerdings den gehörigen Widerſtand leiſten. Da aber ſolche anderweitige Urſachen des Zerſprengens nie fehlen, auſserdem aber die metallenen Röhren ſofort einer beginnenden Zerſtörung ausgeſetzt ſind, in den meiſten Fällen auch eine etwas gröſsere Metalldicke die Koſten nicht ſo bedeutend vermehrt, ſo wird man wohl thun, den eiſernen nur den zehnten Theil, den

---

1 Essay sur les moyens de conduire, d'élever et de distribuer les eaux. Par. 1829. p. 177. Vergl. v. Gerstner's Handbuch d. Mechanik. Th. II. S. 19.

Digitized by Google

kupfernen und bleiernen aber nur den dritten Theil der berechneten Druckhöhen anzuvertrauen. Hölzerne Röhren werden des Verfaulens wegen jetzt nur da angewandt, wo das Holz in Menge vorhanden ist, und man thut dann wohl, dieses Material von gewiſs zureichender Stärke zu wählen.

Gebrannte thönerne Röhren haben in vielen Beziehungen entschiedene Vorzüge, jedoch hat man ihre Haltbarkeit in Zweifel gezogen und auſserdem in ihrer Sprödigkeit und der gehörigen wasserdichten und dauerhaften Zusammenfügung Schwierigkeiten gegen ihre allgemeinere Anwendung gefunden. Die Stärke derselben, welche hier allein in Betrachtung kommt, ist durch die neuesten Versuche sehr befriedigend dargethan worden, denn solche festgebrannte Täuchel von 5 Fuſs Länge und 2,5 bis 2 Zoll Durchmesser, die zu einer Wasserleitung in Prag genommen wurden, hielten bei einer Dicke von $\frac{5}{8}$ Zoll einen Druck von 50 Fuſs aus, und obgleich nach einem Jahre eine derselben zersprang, so kann doch dieses nur einer zufällig vorhandenen Fehlstelle zugeschrieben werden[1]. Neuerdings hat man die vortrefflichen, zu Waiblingen im Würtembergischen verfertigten, von 4 Fuſs Länge, 3 Zoll Weite und 6 Linien Dicke, amtlich probirt (unter der Leitung des Ober-Wasser-Baudirectors Obrist v. Duttzenhofer) und gefunden, daſs sie selbst und ihre nachher zu erwähnende Verkittung durch Trastmörtel einen Wasserdruck von 180 Fuſs aushalten.

B. Hydraulische und hydrodynamische Gesetze.

Die bisherigen Betrachtungen bezogen sich auf das Verhalten der Flüssigkeiten in Röhren unter der Bedingung des bestehenden Gleichgewichts; es giebt aber noch gleich wichtige Untersuchungen, bei denen es sich um die *Bewegungsgesetze* der Flüssigkeiten in Röhren handelt, die hier noch kurz erörtert werden müssen. Die eine derselben bezieht sich auf den *Ausfluſs der Flüssigkeiten* aus kürzern und längern Röhren von verschiedener Form und ist bereits mit genügen-

1 V. Gerstner Handbuch der Mechanik. II. S. 249.

Digitized by Google

der Vollständigkeit im Art. *Hydrodynamik*[1] behandelt worden; auch ist die Anwendung der dort aufgefundenen Gesetze oben im Art. *Rad*, *Mühlrad*, nachgewiesen worden, worauf ich hier verweisen kann; die andere bezieht sich auf diejenigen Gesetze, wodurch das *Fortfließsen* der Flüssigkeiten, namentlich des Wassers, in und durch Röhren von verschiedener Beschaffenheit bedingt wird. Auch hierüber ist bereits gesagt worden[2], daſs die Theorie noch keineswegs genügend begründet worden sey, und da noch obendrein das ganz ähnliche, auf gleichen Gesetzen beruhende Problem über das Verhalten elastischer Flüssigkeiten beim Strömen durch Röhren ausführlich erörtert worden ist[3], so wird es hier genügen, nur die der Wahrheit am nächsten kommenden Resultate für den praktischen Gebrauch mitzutheilen.

Wenn es sich zuvörderst um den *Widerstand* handelt, welchen die Röhrenwandungen dem in ihnen flieſsenden Wasser entgegensetzen müssen, so vermindert sich dieser mit der Geschwindigkeit seiner Bewegung. Bekanntlich ist nämlich die Geschwindigkeit $v = f(H)$, und da nach der oben mitgetheilten Formel die Stärke der Röhren gleichfalls $= f(H)$ ist, so folgt hieraus, daſs die Druckhöhe durch die Geschwindigkeit bedingt werde. Es ist dann ferner $H = \frac{v^2}{4g}$, und wenn also H und H' die Druckhöhen bezeichnen, womit das Wasser bei den zugehörigen Geschwindigkeiten gegen die Röhrenwandungen drückt, so ist $H' = H \frac{v'^2}{v^2} \text{Sin.}\, \alpha$, d. h. der Druck gegen die Wandungen wird nicht stärker seyn als derjenige, welchen das Wasser dagegen ausüben würde, wenn es stillstehend eine Höhe erreichte, aus welcher lothrecht herabfallend dasselbe die Geschwindigkeit erhalten würde, mit welcher es sich in der Röhre bewegt, vorausgesetzt daſs dieser Druck lothrecht gegen die Wandungen der Röhren gerichtet ist, was nur bei ihrer horizontalen Lage statt findet, zu welchem Ende der Factor hinzukommt, worin α den Neigungswinkel mit der verticalen Linie bezeichnet. Mit andern

---

1 Bd. V. S. 532.

2 *Hydrodynamik*. Bd. V. S. 549.

3 Art. *Pneumatik*. Oben S. 639.

Digitized by Google

Worten kann man einfach ſagen: das flieſsende Waſſer übt gegen die Röhrenwandungen einen Druck aus, welcher derjenigen Höhe proportional iſt, bis zu welcher daſſelbe in einer an der gegebenen Stelle aufgeſetzten Röhre ſteigen würde. In der Praxis enthalten die eine geneigte Ebene bildenden Röhren oft ſo wenig Waſſer, daſs ſie davon gar nicht ganz erfüllt werden und alſo gar kein Druck gegen die geſammte Peripherie der Wandungen ſtatt findet, auſserdem aber kann es als Regel gelten, den Röhren im Allgemeinen diejenige Stärke zu geben, die der verticalen Waſſerhöhe zugehört, da es ſich leicht ereignen kann, daſs dieſe durch irgend eine Verſtopfung in den Röhren wirklich erreicht wird.

Die Frage über die *Geſchwindigkeit der Bewegung* des Waſſers in Röhrenleitungen kommt hauptſächlich dann in Betrachtung, wenn es ſich darum handelt, die Menge deſſelben zu beſtimmen, welche durch Röhren von einer gewiſſen Weite im Lichten (*lumen*) erhalten werden kann. Hierbei ſind aber zwei weſentliche Bedingungen zu berückſichtigen, nämlich zuerſt, daſs die Röhren an keiner Stelle eine Verengerung haben, und zweitens, daſs ſie nicht in einem Winkel gebogen ſind. Eine Verengerung würde zwar nicht völlig zur Folge haben, daſs man die Weite der ganzen Leitung nach dem Durchmeſſer dieſer Stelle beſtimmte, da das Waſſer in ihr auf eine kurze Strecke eine gröſsere Geſchwindigkeit annehmen könnte, allein da dieſes von der Länge einer ſolchen verengten Strecke abhängt, ſo iſt die Beſtimmung hierüber ausnehmend ſchwierig, es würde dann immerhin am gerathenſten ſeyn, die Weite der ganzen Röhrenleitung nach dem kleinſten Durchmeſſer zu beſtimmen. Sind die Röhrenleitungen in einem Winkel gebogen, ſo muſs dieſes beſonders berückſichtigt werden, und die folgenden Unterſuchungen beziehn ſich daher auf gleich weite und gerade Röhrenleitungen.

Damit das Waſſer in den Röhren fortflieſse, müſſen die letztern entweder gegen den Horizont geneigt ſeyn, oder, wenn ſie horizontal liegen, ihren Zufluſs aus einem Gefäſse erhalten, worin das Waſſer einen höhern Stand hat; denn daſſelbe kann nur unter der Bedingung ſich bewegen, wenn es als ſchwerer Körper lothrecht oder auf der geneigten Ebene herabfällt, in beiden Fällen aber folgt es ganz den bekannten

Fallgesetzen. Gehn die Röhrenleitungen zuerst herabwärts und dann wieder aufwärts, so wird in beiden Schenkeln nach den angegebenen statischen Gesetzen zuerst das Gleichgewicht für gleiche verticale Höhen hergestellt, dann aber erfolgt das Ausflieſsen aus dem niedrigern Schenkel mit einer durch den Unterschied der Höhe des längern bedingten Geschwindigkeit. In allen Fällen müſste daher die Fallgeschwindigkeit desselben $v = 2\sqrt{gH}$ seyn, und wäre dann der Querschnitt der Röhre bekannt, so gäbe dessen Flächeninhalt $= f^2$ mit der Geschwindigkeit multiplicirt, also vf^2, den Kubikinhalt des in einer Secunde ausflieſsenden Wassers, wenn nicht Hindernisse, welche diese Geschwindigkeit der Bewegung vermindern, jene theoretisch bestimmte Menge verringerten. Inwiefern dieses durch die *Ausguſsröhren* geschieht, ist bereits untersucht worden, und es kommen daher nur die hier in Frage stehenden Hindernisse der Bewegung zur Untersuchung, die durch die *Fortleitungsröhren* erzeugt werden. In dieser Beziehung fehlen uns aber bis jetzt noch, so weit mir bekannt ist, gleich gründliche theoretische Untersuchungen, als die über die Strömungen der Luft von mir im Art. *Pneumatik* beigebrachten sind, und auch die Erfahrungen sind keineswegs in solchem Umfange und mit gleicher Gründlichkeit angestellt worden, als bei jener Aufgabe.

Die Hindernisse, welche die Geschwindigkeit der Bewegung in Röhren bei Flüssigkeiten vermindern, liegen in der Reibung und Adhäsion derselben an den Wandungen. Zwar findet bei den Flüssigkeiten keine eigentliche Reibung statt, allein die langsamere Bewegung elastischer Flüssigkeiten in rauhen Röhren nach den Beobachtungen von G. G. Schmidt zeigt doch das Vorhandenseyn einer Art Reibung, und auf jeden Fall dürfen sich in den Röhren keine solchen Rauheiten befinden, wogegen die bewegten Flüssigkeiten stoſsen könnten, weil sonst nothwendig hieraus ein Hinderniſs erwachsen müſste; übrigens kommt die Substanz, woraus die Röhren bestehn, nicht in Betrachtung, sondern es gelten für alle die nämlichen Gesetze. Die eigentliche Ursache, wodurch die Geschwindigkeit der Bewegung der Flüssigkeiten in Röhren vermindert wird, ist die *Adhaesion* derselben an den Wandungen. Wenn ich rücksichtlich der eigenthümlichen Art, wie diese Verzögerung statt findet, und der Gesetze, die

hierbei in Betrachtung kommen, auf dasjenige verweise, was hierüber in Beziehung auf elaſtiſche Flüſſigkeiten im Artikel *Pneumatik* bereits geſagt worden iſt und dem Weſen nach auch auf tropfbare angewandt werden kann, ſo iſt ſoviel wenigſtens gewiſs, daſs dieſes Hinderniſs mit der Länge der Röhrenleitung und der Abnahme des Durchmeſſers wachſen müſſe, weil beide Bedingungen im Verhältniſſe zu dem fortflieſsenden Waſſercylinder wachſen. Hieraus folgt alſo, daſs die Verzögerung der theoretiſch beſtimmten Bewegungsgeſchwindigkeit im geraden Verhältniſſe der Länge der Röhrenleitung und im umgekehrten des Durchmeſſers wachſen müſſe; die Aufgabe bezieht ſich alſo nur auf die Beſtimmung des Verhältniſſes, in welchem dieſe Verzögerung für beide verſchiedene Bedingungen ſtatt findet, und hierüber entnehmen die Schriftſteller aus den vorhandenen Erfahrungen die erforderlichen Beſtimmungen.

Die Verſuche, welche man zu benutzen pflegt, um einen analytiſchen Ausdruck der Geſchwindigkeit des in Röhren flieſsenden Waſſers bei gegebener Gröſse der Länge, des Durchmeſſers und der Fallhöhe aufzufinden, ſind die von Bossut[1] und Couplet und die von du Buat[2], allein die Formel, welche Bossut aus ſeinen eigenen und du Buat aus beider Verſuchen ableitet, iſt für die praktiſche Anwendung zu unbequem, eben dieſes iſt der Fall bei der durch Robison[3] gegebenen, welcher den Gegenſtand ſehr ausführlich behandelt, ſehr einfach dagegen iſt der durch Thom. Young[4] vorgeſchlagene analytiſche Ausdruck, wonach

$$V = 153(\sqrt{d} - 0{,}2)\sqrt{\left(\frac{H}{L+45\,d}\right)} + 1{,}6\left(\frac{H}{L+45\,d}\right)^{\frac{7}{8}} - 0{,}001$$

die Geſchwindigkeit V des ausflieſsenden Waſſers (ohne Rückſicht auf die Zuſammenziehung der Waſſerader beim Ausfluſſe) aus dem Durchmeſſer der Röhre = d, der Länge der

---

1 Traité theorique et experimental d'Hydrodynamique. 3me ed. Paris 1791. 2 vol. 8. Ueberſetzt von Langsdorf. Frankfurt 1792. 2 vol. 8.

2 Principes d'Hydraulique. Paris 1816. 3 T. 8. Erſte Ausgabe. Ebend. 1786.

3 System of mechanical Philosophy. T. II. p. 421.

4 Encyclop. metrop. art. Hydrodyn. p. 237.

Digitized by Google

Leitung = L und der lothrechten Höhe = H gefunden wird. Im Ganzen wird den Resultaten der Versuche gemäſs in dieser Formel die Geschwindigkeit des Wassers in langen Röhren der Quadratwurzel aus ihrem Durchmesser direct und aus ihrer Länge umgekehrt proportional gesetzt, was in einer durch Leslie[1] aufgestellten einfachen Formel, wonach

$$V = 50 \sqrt{\frac{dH}{L}}$$

seyn soll, gleichfalls geschieht. Langsdorf[2] handelt über diesen Gegenstand sehr ausführlich, ist aber der Meinung, daſs man aus dem nämlichen Grunde, wonach die Geschwindigkeit im geraden quadratischen Verhältnisse der Längen und im umgekehrten quadratischen der Durchmesser vermehrt wird, mit folgender bequemen Formel der Wahrheit mindestens sehr nahe komme, wonach die Geschwindigkeit des Ausflieſsens

$$V = \frac{\sqrt{5784 \,.\, H}}{\sqrt{\left(1 + \frac{1{,}6\,L}{72\,d}\right)}}$$

und, wenn man zugleich nach du Buat die Hindernisse berücksichtigt, welche aus mäſsigen, nicht eckigen, sondern abgerundeten, 45° nicht erreichenden Krümmungen entstehn,

$$V = \frac{\sqrt{5784 \,.\, H}}{\sqrt{\left(1 + \frac{1{,}6\,L}{72\,d} + 0{,}16\,S^2\right)}}$$

angenommen wird, wenn V die Geschwindigkeit in einer Secunde, H, L und d die lothrechte Höhe, die Länge und den Durchmesser der Röhrenleitung, S aber die Summe der Sinusse sämmtlicher Krümmungen bezeichnen. Am vollständigsten hat v. Gerstner[3] diesen Gegenstand untersucht und dabei sowohl die obengenannten Versuche von Bossut und du Buat, als auch die von dem verstorbenen Fr. J. v. Gerstner angestellten berücksichtigt, wovon eine Reihe zugleich den Einfluſs der Temperatur des Wassers aufzufinden bestimmt ist. Da letztere für die geringen Unterschiede, die bei ge-

1 Elements of nat. Philos. T. I. p. 369.
2 Lehrbuch d. Hydraulik. S. 62.
3 Handbuch der Mechanik. Th. II. S. 175 ff.

wöhnlichen Wasserleitungen stattzufinden pflegen, füglich vernachlässigt werden kann, so findet er für die Geschwindigkeit des Ausflusses

$$V = \left\{ \frac{4gH}{1 + \frac{4L}{180d}} + \left[\frac{8gL}{18000d\left(1 + \frac{4L}{180d}\right)\sqrt{d}} \right]^2 \right\}^{\frac{1}{2}} - \frac{8gL}{18000d\left(1 + \frac{4L}{180d}\right)\sqrt{d}},$$

worin die gleichen Buchstaben dieselben Gröſsen, g aber die Fallhöhe in einer Secunde, alles nach niederöstreichischem Fuſsmaſse bezeichnen. Wollte man bei der Anwendung derselben auch auf den Widerstand Rücksicht nehmen, welchen die Biegungen der Röhren erzeugen, so findet v. Gerstner mit Benutzung der durch du Buat angestellten Versuche, daſs die zur Ueberwältigung dieses Widerstands erforderliche Druckhöhe $h'' = 0{,}001\ S \cdot \frac{V^2}{4g}$ ist, welche Gröſse daher von der Fallhöhe abgezogen werden muſs, wenn man aus dieser die Geschwindigkeit finden will. Es ist aber für gerade Röhren

$$H = \frac{V^2}{4g} + \frac{4L}{180d}\left(\frac{V^2}{4g} + \frac{V}{100\sqrt{d}}\right),$$

und also für gekrümmte, bei denen S die Summe der Biegungswinkel der Röhren bezeichnet,

$$H' = \frac{V^2}{4g} + \frac{4L}{180d}\left(\frac{V^2}{4g} + \frac{V}{100\sqrt{d}}\right) + 0{,}001\,S\frac{V^2}{4g},$$

woraus der Werth von V gefunden wird. Eine Reduction auf anderweitige übliche Maſse ist unnöthig, da sie sowohl im Nenner als auch im Zähler vorkommen und daher sich wechselseitig ausgleichen; ebenso ist es überflüssig hinzuzusetzen, daſs die Geschwindigkeit des ausflieſsenden Wassers mit dem Flächeninhalte des Querschnitts der Röhren multiplicirt den Kubikinhalt des ausflieſsenden Wassers giebt. Endlich will ich nur noch hinzusetzen, daſs nach d'Aubuisson[1] die Menge des in einer Secunde ausflieſsenden Wassers nach Metern

1 Ann. Ch. Phys. T. XXXIV. p. 395.

Digitized by Google

$$M = 20{,}8 \sqrt{\frac{H d^5}{L + 54\, d^4}}$$

beträgt, welche Formel, wie man sieht, auf die nämlichen Grundsätze gegründet ist und mit der von demselben Gelehrten für die Menge der ausströmenden Luft gefundenen groſse Aehnlichkeit hat[1].

Zu einer Vergleichung der hier mitgetheilten theoretischen Bestimmungen mit den wirklichen Leistungen bestehender Wasserleitungen giebt es wenige Thatsachen, weil selten Messungen zu diesem Behufe angestellt werden. Inzwischen erwähnt v. Gerstner zwei Beispiele dieser Art, das eine aus du Buat's angegebenem Werke, wonach eine Röhrenleitung von 18 Zoll Durchmesser, 3600 Fuſs Länge und 14,5 Fuſs Fallhöhe $\frac{1}{6}$ mehr Höhe hatte, als der gelieferten Wassermenge zugehörte, das andere aber nach Nordwall's[2] Angabe, wobei die Druckhöhe um $\frac{1}{12}$ geringer war, als der Theorie nach erfordert wird. Hieraus geht als Resultat hervor, daſs die durch v. Gerstner aufgestellte Formel für die Praxis allerdings genügt. Weit weniger findet sich die erforderliche Uebereinstimmung bei den beiden groſsen Wasserleitungen in Edinburg, die, aus sehr weiten guſseisernen Röhren bestehend, nach Leslie[3] nur ungefähr $\frac{3}{5}$ soviel Wasser lieferten, als die theoretische Bestimmung angiebt, welches als Folge einer mangelhaften Anlage betrachtet wird, vielleicht auch durch eine allmälige Verstopfung verursacht seyn mag.

Gute Röhrenleitungen für das Trinkwasser sind ein so nothwendiges Bedürfniſs und die Veranlassungen über ihre Zweckmäſsigkeit zu urtheilen sind so zahlreich, daſs es mir nach dem Plane unseres Werks nicht bloſs nützlich, sondern

1 In Frankreich macht man meistens Gebrauch von der durch Prony gefundenen Formel, wonach für lange cylindrische Röhren $V = 26{,}79 \sqrt{\frac{dH}{L}}$ und also $M = 26{,}79\, \frac{\pi}{4}\, d^2 \sqrt{\frac{dH}{L}}$ in metrischem Maſse ist; nach Egault in Comte de Chabrol Recherches statistiques de la ville de Paris. 1826. p. 4. soll aber der Ausdruck für M mit 0.7 multiplicirt werden, um mit der Erfahrung übereinzustimmen. Hachette Traité élém. des Machines. p. 107.

2 Maschinenlehre. Uebers. von Blumhof. Berl. 1804.

3 Elements of nat. Phil. T. I. p. 374.

ſogar nothwendig ſcheint, noch einige praktiſche Bemerkungen über dieſelben hinzuzufügen, wenn gleich gröſsere Anlagen dieſer Art die Mitwirkung eines erfahrenen Hydrotecten erfordern.

a) Eiſerne Waſſerleitungen.

Die gröſsten und wichtigſten Waſſerleitungen beſtehn aus guſseiſernen Röhren, deren Länge etwa 4 bis 15 Fuſs beträgt und deren Weite der Menge des zu fördernden Waſſers angemeſſen iſt. Ihre Zuſammenfügung geſchieht bei den kleinern vermittelſt des Ineinanderſteckens. Zu dieſem Behufe haben die Röhren am einen Ende einen Kopf, welcher bei einer Länge von etwa 3 Zoll gerade ſo viel erweitert worden iſt, daſs das andere Ende einer zweiten Röhre ſich bequem hineinſchieben läſst. Zum Verſtopfen der hierbei bleibenden Oeffnungen oder des Spielraums kann man in Unſchlitt getränktes Werg anwenden, meiſtens bedient man ſich dazu aber eines fetten Kittes, welcher aus 70 ℔ Pech, 30 ℔ Ziegelmehl, 20 ℔ Traſspulver und 8 ℔ Unſchlitt beſteht; ſtatt des Pechs allein können mit gröſserem Nutzen auch 40 ℔ Harz und 30 ℔ Schwefel genommen werden. Man läſst die ſchmelzbaren Subſtanzen in einem Keſſel zergehn, indem man das Unſchlitt zuletzt hinzuſetzt und alles durch Umrühren bei gelinder Wärme zu einer gut gemiſchten Flüſſigkeit vereinigt und dann erſt das Pulver genau damit vermengt. Von der erſtarrten und zerſchlagenen Maſſe wird demnächſt ſoviel in einem geeigneten Gefäſse zerlaſſen, als der jederzeitige Verbrauch erfordert. Dieſe Zuſammenfügung iſt jedoch die ſchlechtere, weil organiſche Stoffe ſich in der feuchten Erde und im Waſſer allmälig auflöſen. Eine andere Ausfüllung der Zwiſchenräume geſchieht dadurch, daſs man ſie unten mit etwas in Unſchlitt getränktem Werg verſtopft und den obern Raum mit Blei vollgieſst. Dieſe Methode, worüber mir noch keine Erfahrungen bekannt ſind, ſcheint mir nicht empfehlenswerth, da beide Metalle nothwendig galvaniſch auf einander reagiren müſſen, wodurch die ohnehin nachtheilige Oxydirung des Eiſens ausnehmend befördert wird. Die ganze Methode des Ineinanderſteckens hat aber endlich noch den Nachtheil, daſs ein ſchadhaftes Rohr nicht herausgenommen und durch ein neues erſetzt werden kann. Letzterem Uebel wird dadurch

Digitized by Google

begegnet, daſs man auf längere oder kürzere Strecken einzelne Röhren ohne einen solchen angegossenen Kopf zwischenlegt, die mit ihren Enden aneinander stoſsen und vermittelst eines breiten, über die Fuge geschobenen Ringes, einer Muffe, verkittet werden. Statt des Kittes können die Fugen dieser eingesteckten Röhren auch vermittelst hölzerner, in Theer eingetauchter Keile oder eines eingetriebenen bleiernen Ringes verstopft werden. Die gröſsten guſseisernen Röhren haben an jedem Ende einen auf ihre Axe lothrecht hervorstehenden Rand mit auf einander passenden Löchern, durch welche man eiserne Schrauben steckt, um je zwei Ränder nach zwischengelegter Bleiplatte, die an jeder Seite mit einer in Theer getauchten Leder- oder Filzscheibe versehn ist, fest zusammenzuziehn.

Guſseiserne Röhren würden allen Forderungen vollkommen genügen, wenn nicht ihrer Anwendung einige Schwierigkeiten entgegenständen, welche jedoch nicht bedeutend genug sind, um in allen denjenigen Fällen von ihnen Gebrauch zu machen, wo das Wasser einen bedeutenden Druck ausübt, indem sie dann nicht bloſs vorzugsweise, sondern fast ausschlieſslich gewählt werden müssen. Die ihren Gebrauch erschwerenden Hindernisse sind 1) die Ausdehnung durch Wärme. Wo es möglich ist, legt man sie 4 bis 6 Fuſs tief in die Erde, und wenn dann die Quellen, aus denen sie das Wasser erhalten, zu den aus gröſserer Tiefe entspringenden gehören, die ihre Temperatur im ganzen Jahre nicht merklich ändern und diese dann den Röhren mittheilen, so kommt der Einfluſs der Wärme nicht sehr in Betrachtung, auch geben die zusammengeschraubten soviel nach, als die Ausdehnung durch den geringen Unterschied der Wärme beträgt. Liegen die Röhren dagegen flach oder auf der Erdoberfläche, so dürfen sie überhaupt nur wenige Grade unter den Gefrierpunct des Wassers erkaltet werden, so weit nämlich ihr Widerstand hinreicht, das Wasser am Gefrieren zu hindern, weil sonst das entstehende Eis bei 12 bis 20° C. unter 0 auch die stärksten zersprengen könnte. Dennoch aber kann der Unterschied der Wärme, den sie im Winter, in kühlen Nächten und durch den unmittelbaren Einfluſs der Sonnenstrahlen annehmen, bis 25° C. steigen, und da die Längenausdehnung hierfür 0,000277 beträgt, so müssen sie sich auf 1000 Fuſs

Länge um 3,324 Zoll mit einer alle Bande der Cohäsion zerreiſsenden Kraft ausdehnen. Man versieht sie daher in geeigneten Absätzen mit Compensatoren, unter denen die von Hachette angegebenen und zu Paris in Anwendung gebrachten am vorzüglichsten sind, wie schon aus der Ansicht der Figur genügend erhellt. Der Kopf der einen Röhre B erhält Fig. 249.
noch einen zweiten weitern m m' mit einem flachen Ringe, in welchem die Schrauben s s' festsitzen, die den kurzen, gleichfalls mit einem flachen Ringe versehenen Cylinder n n' anziehn, um die Lage des in Unschlitt getränkten Hanfs a a' fest zwischen die Fugen zu drücken und diese dadurch wasserdicht zu verschlieſsen. Das Ende der eingesteckten Röhre A wird dann zuerst auf die Länge einiger Zolle glatt abgedreht, demnächst mit dem Hanfe umwickelt und eingesteckt, worauf es sich in dieser zweckmäſsigen Liederung frei hin und her bewegen kann.

2) Ein zweiter Uebelstand bei guſseisernen Röhren ist das leichte Gefrieren des Wassers in ihnen, dem sie wegen ihres starken Wärmeleitungs-Vermögens vorzugsweise ausgesetzt sind und wogegen sie durch die bereits genannten Mittel nicht allezeit gesichert werden. Es folgt aber nicht, daſs sie durch das Eis jederzeit zersprengt werden, indem dasselbe bei wachsender Ausdehnung sich vielmehr leicht anderweitig einen Ausweg sucht; auch erfolgt das Wiederaufthauen bei ihnen eben wegen ihrer groſsen Wärmeleitung schnell; soll es aber künstlich erzielt werden, so müssen die Mittel hierzu nach der Individualität der Anlage gewählt werden, und es ist im Allgemeinen die Anwendung des heiſsen Wassers oder Dampfs am geeignetsten.

3) Guſseiserne Röhren sind dem Rosten leicht ausgesetzt, jedoch erfolgt die Zerstörung hierdurch bei ihnen weit minder leicht, als beim Schmiedeeisen, ein Umstand, welcher der Anwendung der genannten Schrauben zum Zusammenfügen der einzelnen Täuchel sehr entgegensteht, weswegen es räthlich seyn dürfte, die hervorstehenden Ränder vermittelst guſseiserner Klammern zu vereinigen, die obendrein wegen ihres geringen Preises sich sehr empfehlen; doch ist mir nicht bekannt, daſs man sie irgendwo in Anwendung gebracht habe. Zur Sicherung überzieht man die bereits zusammengefügten Röhrenleitungen mit einem Firniſs, welcher aus 4 ℔ ge-

kochtem Theer besteht, dem man vor dem Gebrauche 1 ℔ Kohlenstaub und 2 ℔ Kalkmehl zusetzt, auch legt man die Röhren zur Verhütung des Rostens in Kohlenpulver über eine Lage Sand, bestreut sie von oben mit Kohlenpulver und darüber mit Sand und deckt sie dann erst mit Erde zu. Daſs man sowohl zum Kitte, als auch zum Firnisse statt des gewöhnlichen Theers den bei der Fabrication des Leuchtgases aus Steinkohlen gewonnenen und noch besser Bergtheer anwenden könne, wenn beide Substanzen zu haben sind, mag hier nur beiläufig erwähnt werden.

4) Die erdigen Theile, wovon das Wasser, man darf wohl sagen ohne Ausnahme, eine gröſsere oder geringere Menge mit sich führt, inkrustiren die guſseisernen Röhren inwendig, indem sie sich mit dem gebildeten Eisenoxydhydrate zu einer sehr harten Masse vereinigen, dadurch die Röhren verengern und endlich ganz verstopfen. Enthält das Wasser viel Kalk, wie nicht selten der Fall zu seyn pflegt, so erfolgt dieses sehr bald und erfordert dann eine Reinigung. Meistens ist diese sehr kostspielig und wurde vor einigen Jahren in Paris für die dortigen Wasserleitungen zu 100000 Francs veranschlagt, geschah aber nachher durch d'Arcet für 25000 Fr. durch hineingebrachte Salzsäure. Die Wasserleitungen in Prag werden alle 4 bis 6 Jahre vermittelst einer federnden Birn an einem langen Stiele gereinigt, die man in die Röhren einbringt und die angesetzte Kruste damit fortschafft, indem man den Stiel durch angesetzte Stücke bis auf 10 Klaftern verlängert.

b) Bleierne Wasserleitungen.

Man verfertigt jetzt die bleiernen Röhren zu einem verhältniſsmäſsig sehr geringen Preise (20, sogar 18 Fl. den Centner) und nur von 1 bis 2 Lin. Metalldicke, so daſs Wasserleitungen aus ihnen bei weitem nicht so kostbar sind, als früher. Sie gewähren auſserdem den Vortheil, daſs sie sich bei nicht allzugroſsem Durchmesser leicht nach allen Richtungen biegen lassen, und auſserdem geschieht das Legen derselben leicht, indem man bloſs nöthig hat, die 20 und mehr Fuſs langen einzelnen Theile zusammenzulöthen, wozu noch der Umstand kommt, daſs nach erfolgter Abnutzung der Rest des Materials wieder veräuſsert werden kann. Sie haben je-

Digitized by Google

doch zwei Fehler, die ihre Anwendung auf längere Strecken (also mit Ausnahme kurzer Stücke, die ihrer Biegsamkeit wegen oft kaum entbehrlich sind) gänzlich verbieten. Zuerst sind sie nicht hinlänglich zuverlässig, indem sie ohne bedeutende Metalldicke, die sie dann sehr kostbar macht, zu geringe Dauer haben. Ich selbst habe im Jahre 1818 eine Länge von 156 Fuſs neu legen lassen, die jedoch im vergangenen Sommer schon durch eine andere ersetzt werden muſste, und eine andere längere zeigt sich bereits an so vielen Stellen schadhaft, daſs sie nächstens ganz unbrauchbar seyn wird. Weit wichtiger aber ist der Bleikalk, der sich im Innern der Röhren bildet, dem Wasser mitgetheilt wird und der Gesundheit Gefahr bringt, weswegen längere Röhrenleitungen dieser Art überall nicht geduldet werden sollten.

c) Hölzerne Röhrenleitungen.

Man findet die hölzernen Wasserleitungen noch sehr häufig, weil ihre Verfertigung höchst einfach und leicht ist. Selten werden sie aus Eichenholz verfertigt, meistens aus Fichten- oder Kieferstämmen, in Edinburg und überhaupt in England und Schottland häufig aus Erlenstämmen. Je nach dem Preise des Holzes und der erforderlichen Weite der Täuchel wählt man dünnere oder dickere Stämme, durchbohrt diese der Länge nach, sägt sie an den Enden vertical auf ihre Längenaxe zu einer ebenen Fläche ab, treibt einen an beiden Enden scharfen, in der Mitte etwas erhabenen, 3 bis 4 Zoll langen und etwas mehr als die Röhrenöffnung weiten Ring von Eisen so hinein, daſs dadurch beide Enden wasserdicht verbunden werden, und legt sie auf diese Weise entweder in oder über der Erde. Bei starkem Drucke müssen sie eine bedeutende Holzdicke haben und werden dann zuweilen noch auſserdem mit eisernen Bändern beschlagen. Sie haben jedoch den Nachtheil, daſs sie sehr bald anfangen zu modern und bei weiter fortschreitender Zerstörung dem Wasser einen Theil der modernden Stoffe mittheilen, was der Gesundheit nachtheilig ist, und auſserdem ist das Modern derselben in den Städten, wo oft mehrere solche Leitungen neben einander liegen, ein Hinderniſs der Salubrität, nicht zu gedenken, daſs die hierdurch häufig erforderlichen Reparaturen ein Aufreiſsen des Steinpflasters und Sperren der Straſsen zur

Digitized by Google

Folge haben. Wie lange die verschiedenen Holzarten ausdauern, darüber ist es schwer, genügende Erfahrungen aufzufinden, und auſserdem hängt dieses sehr ab von der Dicke der Stämme, ihrer Gesundheit, dem Boden, worauf sie gewachsen, und der Zeit, wenn sie gehauen sind. Nach v. Gerstner dauern die Röhren aus Kieferstämmen zu Prag nur 6 Jahre, mir sind jedoch andere Erfahrungen bekannt, wonach sie in Gemäſsheit ihrer Güte und Stärke zwischen 3 und 20 Jahren aushalten. Am vortheilhaftesten ist es daher, gesunde und möglichst starke Stämme von 8 bis 10 par. Zoll Durchmesser, die auſserdem sehr harzig und vor dem Safttriebe gehauen sind, zu wählen, weil diese durch ihre längere Dauer die Anlagskosten am besten wieder ersetzen. Bei den hölzernen Täucheln ereignet es sich zuweilen, daſs sogenannte Zöpfe darin wachsen, die sie bedeutend verengern oder gar gänzlich verstopfen. Nach den genauen Untersuchungen des Garteninspectors Metzger in Heidelberg sind dieses bloſs Wurzelfasern; die feinen Wurzeln verschiedener Gewächse, namentlich der Nesseln, selbst auch mehrerer Baum- und Straucharten, dringen nämlich durch feine Risse in den Röhren, ziehen sich nach der Richtung des flieſsenden Wassers hin und wachsen zu beträchtlich dicken, besenartig vereinten und bis 20 Fuſs Länge erreichenden Zöpfen.

d) Thönerne Wasserleitungen.

Wasserleitungen von gebrannten erdenen Täucheln sind sehr alt, denn man findet noch Reste der von den Römern angelegten. Letztere bestehn meistens aus länglichten vierkantigen Prismen von 1 bis 1,5 F. Länge und 6 bis 10 Zoll Durchmesser im Lichten, die bloſs an einander gestoſsen und vermuthlich mit wasserdichtem Mörtel eingemauert wurden; es giebt jedoch auch runde Röhren, wie namentlich solche noch in Wiesbaden aus jener Zeit vorhanden seyn sollen[1]. Aus

---

1 Nach den Nachrichten, welche Leupold in Theat. mach. hydrot. Leipz. 1774. fol. p. 72 ff. aus den alten Schriftstellern gesammelt hat, waren thönerne Röhren bei den Griechen und Römern sehr gebräuchlich. Sie waren meistens rund, 2 Fuſs lang, hatten eine Stärke von zwei Finger Dicke bei verschiedenem Durchmesser, wurden in einander gesteckt und die Fugen durch Kalk, welcher

Digitized by Google

spätern Zeiten findet man deren viele von unbestimmtem, mehrere Jahrhunderte erreichenden Alter; alle, die ich selbst von so langer Dauer, einige bewundernswürdig gut erhalten, gesehn habe, bestehn aus einer hellern oder dunklern röthlich gelben oder gelbröthlichen, stark gebrannten, aber nicht glasigen oder nur porzellanartig zusammengesinterten Masse, weswegen diese Art mir den Vorzug zu verdienen scheint. Die zu ihrer Fabricirung am meisten geeignete Masse ist ein möglichst von Kalk freier und nicht sehr kieselhaltiger Thon, welcher das harte Brennen ohne Verglasung aushält. Sollen jedoch die Röhren einen höhern Grad der Brauchbarkeit haben, so müssen sie 3 bis 5 Fuſs lang und mit einer Maschine gepreſst seyn, indem man den gehörig zubereiteten Thon in eine hinlänglich starke Hülle bringt, und einen eisernen Dorn, welcher zugleich den Kopf mit formt, durch bedeutende mechanische Gewalt hineinpreſst, wobei zugleich für gleichmäſsige Dicke der Wandungen gesorgt werden muſs. Man verwendet zu gewöhnlichen Wasserleitungen auch wohl ungefähr 2 Fuſs lange, an einem Ende zum Einstecken einer folgenden konisch erweiterte, mit der Hand durch Töpfer geformte Röhren aus Steingutmasse, allein diese sind minder brauchbar, theils weil der Kitt weit weniger fest auf ihrer Oberfläche haftet, theils weil sie durch ihre Sprödigkeit leicht Risse bekommen, die das Wasser durchlassen oder auch den eben erwähnten Wurzelfasern das Eindringen gestatten.

Neuerdings hat man an verschiedenen Orten angefangen, die gemeinen Wasserleitungen in Städten und Dörfern aus solchen Täucheln zu verfertigen. Die Vortheile, die sie gewähren, sind zuerst ihr geringer Preis, indem man die durch eine Maschine gepreſsten und gut gebrannten von 3 bis 4 Fuſs Länge, im Mittel 2 Zoll Weite und mit einem 3 Zoll hohen Kopfe den Fuſs zu 6 bis 8 Kreuzer rhein. sehr gut haben kann[1]. Der gröſste Vorzug derselben besteht in ihrer ganz

mit Oel angemacht war, verkittet. Auſserdem ummauerte man dieselben.

1 Sie werden hier in Heidelberg von vorzüglicher Güte, in noch weit gröſserer Menge aber und von beliebigem Durchmeſser durch Bühl zu Waiblingen im Würtemberg'schen verfertigt. Auch Augustin Nowotny in Prag hat auf die Verfertigung seiner vortrefflichen gepreſs-

eigentlich unbestimmbaren Dauerhaftigkeit, da einige erweislich sich fast 2000 Jahre unversehrt in der Erde erhalten haben. Hierzu kommt, daſs sie das durchflieſsende Wasser höchst rein erhalten und dasselbe vor allen andern am wenigsten leicht gefrieren lassen.

Von den wichtigern mir bekannt gewordenen thönernen Röhrenleitungen erwähne ich nur folgende. Leupold[1] empfiehlt sie wegen der oben genannten Vorzüge sehr, giebt eine Anweisung, wie sie geformt und gebrannt werden müssen, und erzählt, daſs sie früher in Sachsen sehr gebräuchlich gewesen sind. Aus den ältern Zeiten befinde sich eine bei Leipzig im Jahre 1560 angelegte, die im deutschen Kriege zerstört worden sey, wovon aber die Röhren sich noch bis zu seiner Zeit so unversehrt erhalten hätten, als ob sie so eben erst in die Erde gegraben worden wären, so daſs man leicht die ganze Leitung wieder herstellen könne. Auch hier in Heidelberg befinden sich noch mehrere Reste solcher Wasserleitungen, namentlich eine aus dem Anfange des 17ten Jahrhunderts, wovon die Röhren mit einem noch jetzt sehr harten Mörtel verkittet in die bloſse Erde gelegt und zugedeckt, sie selbst aber noch so gut erhalten sind, als ob sie erst seit kürzester Zeit verfertigt wären. Im Schloſsgarten zu Prag werden seit einiger Zeit mit gutem Erfolge die hölzernen, so leicht modernden Wasserleitungen durch thönerne ersetzt, die dort an einigen Stellen einem Wasserdrucke von 8,5 Klaftern bei 2 Zoll Durchmesser und ½ Zoll dicken Wandungen Widerstand leisten[2]. Diese Anlagen gehören also zu den neuesten Versuchen dieser Art, deren viele an den verschiedensten Orten neuerdings mit günstig ausgefallenen Resultaten gemacht worden sind, namentlich im Würtemberg'schen, wovon aber das Publicum noch keine allgemeiner verbreitete Kenntniſs erhalten hat.

Die Anlegung thönerner Wasserleitungen erfordert zwar keineswegs höhere technische Kenntnisse, dagegen aber weit mehr Vorsicht, Sorgfalt und pünctliche Genauigkeit, als alle andere Arten verlangen, und darf daher keineswegs rohen und

---

ten Röhren ein zehnjähriges Patent erhalten. S. Jahrbücher des k. k. polytechn. Institutes in Wien. Th. VII. S. 363.

1 Theatrum mach. hydrot. p. 74.

2 V. Gerstner Handbuch der Mechanik. Th. II. S. 249.

Digitized by Google

ganz ungebildeten Arbeitern überlassen werden, wie dieses leicht bei den gemeinen hölzernen und auch im Ganzen bei den eisernen geschehn kann, insofern es meistens nur darauf ankommt, bei der Zusammenſügung hinlängliche Kraft anzuwenden, die noch obendrein unzeitig verschwendet in der Regel das Material doch nicht zu verderben vermag. Ganz anders ist es dagegen mit der Ausführung thönerner Wasserleitungen, und die hierbei nothwendige vorsichtige Behandlung mag wohl verursacht haben, daſs man die frühere häuſige Anwendung derselben später fast ganz aufgegeben und statt ihrer die hölzernen, ungleich schlechtern, in Anwendung gebracht hat. Im Allgemeinen halten zwar die mit einer geeigneten Maschine gepreſsten und gut gebrannten thönernen Täuchel von 2 Zoll innerem Durchmesser und 6 Linien Dicke der Wandungen einen bedeutenden Druck aus, den man unbedenklich zu 60 bis 100 Fuſs annehmen kann, allein sie sind zugleich spröde und insbesondere die längern, wegen der geringern Anzahl der zu verkittenden Fugen bei weitem die vorzüglichsten, zerknicken daher leicht bei unvorsichtiger Behandlung in der Mitte. Vor allen Dingen muſs man daher Bedacht nehmen, daſs sie eine feste Unterlage erhalten und an keiner Stelle hohl liegen, indem sie dann durch eine zwei bis 3 Fuſs hohe Lage Erde und Steinpflaster geschützt den schwersten Frachtwägen hinlänglichen Widerstand leisten. Bei denjenigen Strecken, die durch Felder und Wiesen fortgehn, müssen sie so tief liegen, daſs sie beim Pflügen, Graben und Hacken, desgleichen beim Ausgraben der Bäume und Stauden nicht beschädigt werden, auch ist es räthlich, die Unterlage vorher festzustampfen, damit sie sich an keiner Stelle durch ungleiche Belastung senken, weil die einmal erhärteten Anlagen durchaus keine Biegung dulden. In den Straſsen, und überhaupt wo es auf gröſsere Sicherheit ankommt, thut man wohl, ihnen eine feste Unterlage durch eine Mauer von 0,5 bis 1 Fuſs hoch zu geben, auf diese erste eine Lage aus Hohlziegeln und dann in die hierdurch erhaltene Vertiefung die Röhrenleitung selbst zu legen, letztere an beiden Seiten durch eine Reihe Mauerziegel zu schützen und von oben mit Hohlziegeln zu bedecken, alles dieses durch guten Mörtel zu verbinden und dann erst mit Erde zu bedecken. An denjenigen Orten, wo der Mörtel

Digitized by Google

wegen der eigenthümlichen Beschaffenheit des Kalks in feuchter Erde nicht gut erhärtet, ist es räthlich, demselben etwas Traſspulver zuzusetzen oder, wenn diese Substanz mangelt, den Kalk statt des Wassers mit einer Auflösung von Eisenvitriol zu löschen, wodurch man nach dem Vorschlage von Prechtl[1] und bereits im Groſsen angestellten Versuchen nach Beimischung von feinem Sande einen sehr guten wasserdichten Mörtel erhält.

Zur Verkittung der Fugen nimmt man bei solchen Leitungen, in denen das Wasser ohne merklichen Druck fortflieſst, bloſs guten, durch Wasser gar nicht oder nur wenig auflöslichen Mauermörtel; sobald aber ein etwa drei bis vier Fuſs erreichender Druck vorhanden ist, muſs man auf ein besseres Bindemittel um so mehr bedacht seyn, als man eine längere Dauer der Anlage beabsichtigt. In den meisten Fällen wird neuerdings ein fetter Kitt angewandt, dessen Bestandtheile zwar der Qualität und Quantität nach verschieden, im Wesentlichen aber dieselben sind, die ich oben für das Verkitten der eisernen angegeben habe. Leupold[2] empfiehlt nach de Serres einen Kitt, welcher aus zerlassenem Pech zu 2 Theilen und einem gesiebten Pulver zu 1 Theile besteht, denen man noch etwas Nuſsöl oder Leinöl oder Unschlitt zusetzt und dann die Bestandtheile gut untereinander rührt. Das Pulver wird aus gleichen Theilen Bolus, feinem Fluſssand, Glas und Eisenschlacken und so viel Ziegelmehl, als diese zusammen betragen, in Gestalt einer feinen gleichmäſsigen Mengung bereitet; das Ganze wird in Wasser gegossen, worin der erweichte und zähflüssige Kitt sogleich erhärtet, den man in Stücke zerschlägt, für den Gebrauch wieder schmelzt und auf die erwärmten Röhren aufträgt. Ein anderer von demselben vorgeschlagener kalter Kitt besteht aus dem genannten Pulver, das man mit Nuſsöl oder Leinöl ziemlich dünn anmacht, etwas zerschnittenen Werg und ein wenig Unschlitt, dann aber so viel an der Luft zerfallenen durchgesiebten Kalk zusetzt, bis die Masse sich nicht mehr an das Röhrholz und an die Finger anlegt. Dieser Kitt wird

---

1 Jahrbücher des Wiener polytechn. Instituts. Th. II. S. 353. Bei mangelndem Traſs leistet auch Cement sehr gute Dienste.

2 Theat. mach. hydrot. p. 77.

Digitized by Google

um die Enden der Röhren, wie Wachs, gelegt und nach dem Einstecken fest zwischen die Fugen gedrückt, wobei es vortheilhaft ist, vor dem Einlassen des Wassers einige Tage die Luft darauf einwirken zu lassen. G. Meyer[1] giebt folgenden von Hancock gebrauchten Kitt an. Es werden 2 ℔ Wachs, 2,5 ℔ Leinöl, 12 ℔ weiſses Pech, 18 ℔ schwarzes Pech und 1 ℔ Talg zusammengeschmolzen und vor dem Gebrauche 16 ℔ Gyps oder zerfallener Kalk zugesetzt; eine gröſsere Elasticität kann aber noch durch das Hinzuthun von 2 ℔ in 5 Quart Terpentinöl aufgelöstes Federharz erreicht werden; allein letzterer Zusatz ist zu kostbar und ohne diesen der Kitt zu sehr einer Zerstörung durch Wasser unterworfen. Ungleich besser ist dagegen eine von jenem empfohlene Mischung, nämlich 6 ℔ Steinkohlentheer bis zur Hälfte eingedickt, 1 ℔ Schwefel und ½ ℔ Unschlitt, wozu man kurz vor dem Gebrauche noch 2 ℔ Quarzmehl oder Schwerspathpulver setzt. Unter allen diesen ist der durch Leupold angegebene entschieden der beste, und der eben für eiserne Röhren empfohlene der wohlfeilste bei hinlänglicher Dauerhaftigkeit, obgleich alle fette Kitte mit der Zeit in der Erde zerstört werden.

Vermuthlich bedienten sich die Römer zu ihren unzerstörbaren Wasserleitungen eines Mörtels, welcher aus Kalk durch Zusatz eines vulcanischen Products, namentlich der Puzzolane, bereitet war; seitdem haben Erfahrungen an Cisternen, wasserdichten Kellergewölben und sonstigen Wasserbauten dargethan, daſs der ächte rheinische oder holländische Traſs mit Kalk gleichfalls ein durch den Einfluſs des Wassers unzerstörbares Bindemittel liefert, dessen man sich daher mit groſsem Vortheil auch bei thönernen Wasserleitungen bedienen kann[2]. Das Mischungsverhältniſs beider Bestandtheile ist nach vielfachen Proben sachkundiger Baumeister nach der Beschaffenheit des Kalks verschieden, indem allgemein der

1 Beschreibung und Abbildung der neuesten Erfindungen und Verbesserungen in Betreff der Wasserleitungsröhren u. s. w. Leipz. 1831. 8. S. 6. 53.

2 Ueber Mörtelbereitung mit Traſs vergl. Sganzin Grundsätze der Straſsen-, Brücken-, Canal- und Hafenbaukunde. D. Ueb. Regensb. 1832. 8. S. 113 ff.

magerste Kalk die geringste Menge von Traſs erfordert, ein weiterer Zusatz von Sand aber mindestens nicht nützlich ist, wovon mich eigene Versuche gleichfalls überzeugt haben; inzwischen darf man dem Gewichte nach 1 Th. gelöschten Kalk von der Consistenz der Butter und 2 Th. Traſspulver als ein genähert richtiges Verhältniſs betrachten. Sehr wesentlich ist dann aber eine innige Mengung beider Theile unmittelbar vor dem Gebrauche, weil die Masse selbst nach einigen Stunden schon beträchtlich zu erhärten anfängt, nach 12 bis 24 Stunden aber schon gänzlich unbrauchbar ist und selbst unter Wasser, wenn dieses den Kalk nicht mehr auflöst, steinhart wird. Deswegen muſs der Kalk erst mit Wasser bis zur Dünnflüssigkeit der Buttermilch angemacht, dann der Traſs zugesetzt und die Masse so durchgearbeitet werden, daſs das Ganze einen zähen, aber immer dem Drucke leicht weichenden Brei abgiebt. Hiermit werden die Röhrenenden und die innern Wandungen der Köpfe, beide vorher genetzt, bestrichen, die Enden eingedrückt, bis sie den Boden des Kopfs berühren, dann wird der herausgequollene Kitt stark in die Fugen gedrückt, was mit Hülfe eines geeigneten Werkzeugs und mit den Fingern, die zur Verhütung des fressenden Einflusses von frischem Kalke durch Handschuhe geschützt werden müssen, geschieht, zuweilen wird über den Kitt noch ein thönerner Ring geschoben, welcher auf der Röhre verschiebbar mit dem Rande des Kopfs in Berührung gebracht oder gar etwas über ihn fassend den Kitt festdrückt[1]. Eine mindestens nicht überflüssige und auf jeden Fall sehr sichernde Vorsichtsregel endlich ist, vor dem Einstecken einer folgenden Röhre in die vorhergehende einen Putzen Werg an einer starken Schnur zu stecken und diesen nach dem Einstecken und Andrücken des Kittes durch das folgende Rohr zu ziehn, um von Innen den Kitt stark anzudrücken und zu verhüten, daſs kein innerer Ring von Traſs-

1 Solcher über die Fugen geschobener Ringe bedient man sich auch, wenn ein Täuchel schadhaft geworden ist und herausgenommen werden muſs. In diesem Falle wird der schadhafte zerschlagen, das Ende desselben nebst dem Traſs aus dem Kopfe des vorhergehenden vorsichtig durch einen Meiſsel ausgehauen und ein neuer, in der Mitte durchgesägter, eingezogen, dessen beide Stücke vermittelst eines solchen übergeschobenen Rings verkittet werden.

Digitized by Google

kitt gebildet werde, welcher ſonst erhärten und den Durchgang des Waſsers zum Theil oder ganz verhindern würde. Die auf ſolche Weiſe gefertigten thönernen Leitungen können ſofort mit Erde, ſelbst mit ſehr feuchter, bedeckt werden, indem der Traſskitt auch dann erhärtet; man kann ſie aber zum allmäligen Erhärten erst einige Tage offen laſsen, dann müſsen die Röhren aber täglich zweimal und bei stärkerer Wärme und Trockniſs bis ſechsmal täglich vermittelst einer Gieſskanne mit Waſser beſpritzt werden, weil ſonst der Traſskitt leicht riſsig wird; mit dem Anlaſsen des Waſsers muſs man jedoch nach dem Verhältniſse der gröſsern oder geringern Druckhöhe 14 Tage bis 3 Monate warten, während welcher Zeit die Leitung in feuchter Erde liegt und es ſogar vortheilhaft ist, nach dem Verlaufe der ersten etwa 4 Tage und dann wiederholt in ungefähr gleichen Zwiſchenräumen Waſser, jedoch ohne bedeutenden, drei bis vier Fuſs nicht überſteigenden Druck hindurchflieſsen zu laſsen.

Bei der Anlegung der Röhrenleitungen kommen noch einige Gegenstände in Betrachtung, die um ſo mehr beachtet werden müſsen, je gröſser ſolche Anlagen ſind. Dahin gehört

1) eine genügende Prüfung der Stärke der anzuwendenden Röhren. Dieſe wird jedoch nur dann erfordert, wenn der Druck ſo bedeutend ist, daſs man durch ein bloſses Nachſehn derſelben nicht zur Ueberzeugung ihrer Haltbarkeit gelangen kann, ſondern durch das Probiren der Stärke jeder einzelnen von der Abweſenheit ſchädlicher Fehlstellen verſichert ſeyn muſs. Das Probiren der eiſernen Röhren, bei denen es vorzüglich nöthig ist, geſchieht in der Regel gleich in den Eiſenwerken, um die unbrauchbaren nicht zurückzuerhalten, mit einer aufgeſetzten Preſse, und allezeit bis zu einem höhern Drucke, als welchen dieſelben künftig auszuhalten haben.

2) Aus dem Waſser entwickelt ſich allezeit Luft[1], die ſich in den Krümmungen der Röhrenleitungen anſammelt und das Waſser am Flieſsen hindert. Ist es daher nöthig, daſs die Menge des geleiteten Waſsers nicht vermindert werde, ſo muſs man dieſe Luft an den höhern Stellen durch ge-

---

1 Vergl. *Quellen* S. 1070.

eignete Luftſtänder wegſchaffen. Steigt das Waſſer daſelbst nicht bedeutend, ſo genügt ein bloſses ausgehendes, gegen hineinfallende Gegenſtände geſchütztes Rohr, hat aber das Waſſer auch dort noch eine bedeutende Spannung, ſo daſs es daſelbst ausflieſsen würde, ſo muſs das Rohr unten mit einem Luftbehälter zum Anſammeln der Luft verbunden und oben mit einem Hahne verschloſſen werden, der von Zeit zu Zeit geöffnet und nach dem Ausſtrömen der Luft wieder geſchloſſen wird. Einen ſelbſtregiſtrirenden Mechanismus für dieſen Zweck hat Betancourt angegeben. Dieſer beſteht
Fig. 250. aus einer kupfernen Kugel A, die in dem Behälter CD auf dem Waſſer ſchwimmt und eine Stange mit einem Kegelventile α trägt, um die Oeffnung $\beta\beta$ gegen den Ausfluſs des Waſſers zu verſchlieſsen. Sammelt ſich aber eine hinlängliche Menge Luft in dem Behälter, ſo ſinkt die Kugel herab und verſtattet der Luft einen freien Ausgang, die durch feine in den Seitenwänden des Kaſtens CE angebrachte Oeffnungen ausſtrömt, ohne daſs von auſsen Subſtanzen in die Röhren kommen können.

3) Alle Röhrenleitungen haben Spunde, die auf kürzere oder längere Strecken angebracht ſind und dazu dienen, um nachzuſehn, ob irgendwo eine Beſchädigung eingetreten iſt, oder um etwaige Verſtopfungen durch hineingebrachte Ketten, lange Faſsreifen und ſonſtige Mittel zu beſeitigen. Bei den eiſernen Waſſerleitungen beſtehn dieſe aus eigenen, zwiſchen zwei Röhren paſſenden Stücken, und zwar bei denen von kleinerem Durchmeſſer aus länglichten Käſten mit einer runden oder ein Parallelogramm bildenden Oeffnungen, die mit einem in Theer getränkten oder mit Hanf und Unſchlitt umgebenen eichenen Klötzchen verſchloſſen werden, bei denen von gröſserem Durchmeſſer aber aus ſolchen, bei denen auf der gewöhnlichen Röhre ein kürzeres verticales Ende aufgeſetzt iſt, in welches auf gleiche Weiſe ein hölzerner Zapfen eingetrieben oder deſſen Oeffnung durch einen aufgeſchraubten Deckel verſchloſſen wird. Thönerne Waſſerleitungen können zum bloſsen Nachſehn, ob das Waſſer an der fraglichen Stelle noch flieſst, mit ähnlichen eingeſetzten Stücken verſehn werden, in denen ſich eine nach Art eines Bouteillenhalſes hervorragende, mittelſt eines Korks zu verſtopfende Oeffnung befindet; wenn dieſes aber nicht genügt, ſo ſind

aus Stein gehauene Spunde erforderlich, in deren Seiten die Enden zweier Röhren eingelassen werden und bis an eine von oben herab eingehauene Oeffnung reichen, die auf ähnliche Weise durch einen hölzernen Zapfen verschloſsen wird. In der Regel sind die Spunde mit einem verticalen ausgemauerten Canale nach Art eines Schornsteins umgeben, den man oben mit einem steinernen Kranze versieht, durch einen eichenen Deckel verschlieſst und zugleich als Nothbrunnen für Feuersgefahr einrichten kann. Hölzerne Täuchel laſsen sich überall anbohren; auch kann man an beliebigen Stellen eine Oeffnung einhauen und wieder verspunden, weswegen sie der genannten Vorrichtungen nicht bedürfen.

4) Selten ist das Waſser so rein, daſs es nicht feine Theile Sand, Kalk oder sonstige Substanzen mit sich führen sollte, welche die Hahnen verderben und sich an den tiefſten Stellen der Leitungen auf eine unangenehme Weise anhäufen. Um diese auszuscheiden und fortzuschaffen bringt man Reinigungskasten an, die erforderlich geräumig und tief sind, um die niederfallenden Theile aufzusammeln und durch eine nahe über ihrem Boden angebrachte Oeffnung ausflieſsen zu laſsen. Auch diese werden bei den eisernen Röhren von dem nämlichen Metalle, bei den thönernen aus Stein verfertigt und können auch in beiden Fällen oben mit einer gröſsern Oeffnung versehn seyn, die mit einer festgeschraubten Stein- oder Eisenplatte verschloſsen und geöffnet wird, wenn man an diesen Stellen bequem zu den Röhrenöffnungen gelangen will, wobei sich von selbst versteht, daſs auch diese durch einen verticalen ausgemauerten Canal zugänglich seyn müſsen.

Manche specielle Einrichtungen bei den Röhrenleitungen gehn aus ihren Eigenthümlichkeiten oder den besondern Absichten hervor, die man zu erreichen wünscht, zu deren Erzielung übrigens die Bekanntschaft mit den physikalischen Gesetzen bei vorhandenem technischem Talente ausreichen, die genauere Kenntniſs der gröſsern und berühmtern Anlagen aber, wie die Waſserleitungen zu London, zu Paris und in andern groſsen Städten, desgleichen diejenigen, welche groſse Fontainen und Waſserkünste speisen, erfordert ein tieferes und gründlicheres Studium [1]. *M.*

1 Vieles hierüber, nebst einer Nachweisung der Quellen findet

Rolle.

Scheibe; *Trochlea;* Poulie; *Pulley.*

Die Rolle ist nach den ältern Geometern eine der sechs einfachen Maschinen oder mechanischen Potenzen. Sie besteht aus einer (meistens hölzernen oder metallenen) kreisrunden Fig. 251. Scheibe ADB, die um eine durch ihren Mittelpunct gesteckte Axe drehbar und an ihrem äuſsern Rande mit einer vertieften Rinne zur Aufnahme des Seils versehn ist. Die Axe heiſst auch Bolzen (*goujon, tourtillon*) und ist zuweilen durch zwei Löcher an beiden Enden einer Hülse gesteckt, die vermittelst eines Hakens aufgehängt wird.

Ueber die Rolle wird ein Seil gelegt, welches wegen der Ränder der Rinne nicht abgleiten kann und an dessen beiden Enden die Kräfte K und L wirken, welche die Rolle, jede nach ihrer Seite hin, umzudrehn streben, so daſs sich drei Puncte denken lassen, ein fester in C und zwei nach entgegengesetzten Seiten bewegte A und B, wonach also die Rolle zum Hebel gehört und für den Zustand des Gleichgewichts $CA \times K = CB \times L$ seyn muſs. Das Seil aber mag eine Richtung in der Ebene der Rolle haben, welche es wolle, also wenn dieselbe auch aus AK in DK übergeht, so bildet es allezeit eine Tangente an der Peripherie der Rolle im Angriffspuncte, und demnach ist die Entfernung vom Ruhepuncte stets gleich, weswegen denn für den Zustand des Gleichgewichts auch beide Kräfte unter sich gleich seyn müssen.

Man unterscheidet in der Mechanik die *unbewegliche* und die *bewegliche* Rolle. Die erstere, die unbewegliche, feste oder einfache Rolle (*poulie fixe*), die eben beschriebene, giebt keinen mechanischen Effect, insofern sich das Verhältniſs zwischen Kraft und Last an ihr nicht verändern läſst, vielmehr vermindert sie die Kraft stets genau um soviel, als der Reibungscoefficient beträgt, wenn Bewegung erzeugt werden soll, und ihr Nutzen besteht also bloſs darin, daſs sie die Richtung der Kraft zu ändern und bequemer zu machen gestattet. Sollen nämlich Lasten gehoben werden, so wird die Kraft der Menschen am vortheilhaftesten in vertical herabgehender Richtung, die der Pferde in horizontaler angewandt, und selbst

man in Hachette Traité élém. des Machines und in Gerstner's Handbuch d. Mechanik Th. II.

todte Körper wirken durch ihr Gewicht bloſs in lothrecht herabgehender Richtung, wobei die Rolle das bequemste Mittel abgiebt, diese insgesammt auf die angegebene Weise zu benutzen, ohne daſs an Geschwindigkeit etwas verloren wird. Auf welche Weise die Rollen diesemnach in den verschiedenen vorkommenden Fällen angewandt werden, ist zu bekannt, als daſs ich bei der Beschreibung verweilen sollte[1].

Die zweite Art der Rolle, die *bewegliche* (*poulie mobile*), trägt die Last L an der Hülse, in welcher ihr Bolzen steckt. Fig.
Hierbei ist das eine Ende des Seils F befestigt, dieses läuft 252.
in der Rinne am untern Theile der Rolle hin, wird am andern durch eine Kraft K gehoben und trägt auſser der Last noch das Gewicht der Rolle, welches daher der Last hinzuaddirt werden muſs. Sind hierbei die Seile unter sich und mit der Richtung der Last parallel, so strebt die Kraft die Rolle zusammt der Last in jedem Augenblicke um den Punct C umzudrehn, wonach CA die Entfernung von L, CB aber die von K ist, wonach für den Zustand des Gleichgewichts $K:L = CA:CB = 1:2$ wird, oder die Kraft muſs die Hälfte der Last betragen. Hierbei gewinnt man allerdings an Kraft, verliert aber ebensoviel an Geschwindigkeit. Sind die Seile nicht parallel, so stellt das Gewicht der Last die Rolle so, Fig.
daſs ihre Richtung den Winkel beider Seile FIK halbirt und 253.
bei I durch seine Spitze geht. In diesem Falle ist für den Ruhepunct C die Entfernung von K dem Perpendikel CG gleich, die Entfernung von L aber $= CH$, mithin ist für den Zustand des Gleichgewichts $K:L = CH:CG$. Es sind aber bei G und B rechte Winkel, folglich die Linien CG und AB parallel und die Winkel GCB und ABH einander gleich, die Dreiecke GCB und ABH einander ähnlich. Diesemnach erhält man

$$\tfrac{1}{2} CB : CG = \tfrac{1}{2} AB : BH,$$
also $$CH : CG = AB : 2BH = CB$$
und $$K : L = AB : CB = 1 : 2\,\text{Sin.}\,A.$$

Indem aber Sin. A stets kleiner als Sin. 90° oder als 1 ist, so muſs in dem Falle, daſs die Seile einander nicht parallel sind, die Kraft, welche einer Last $= 1$ das Gleichgewicht halten soll, stets gröſser seyn als $\tfrac{1}{2}$. Ist z. B. $A = 30°$, so ist

1 Leupold theatrum machinarium. Tab. XXXV.

2 Sin. A = 1, mithin die Kraft der Last gleich. In diesem Falle ist der Winkel beider Seile FIK = 120°, und bei dieſem hört der Vortheil der beweglichen Rolle ganz auf; wird aber der Winkel noch gröſser, so muſs auch die Kraft gröſser und unendlich werden, wenn der Winkel 180° beträgt, weswegen es keine Kraft giebt, die dazu hinreicht, ein Seil völlig gerade zu spannen, wenn dasselbe mit irgend einer Last beschwert ist.

Will man vermittelst der Rolle noch gröſsere Lasten mit geringerer Kraft heben, so muſs man mehrere derselben verbinden, welches dann zum Flaschenzuge führt, worüber bereits gehandelt worden ist[1]. Soll ferner das Verhältniſs der Kraft zur Last für die wirkliche Bewegung vermittelst der Rolle aufgefunden werden, so ist dabei zugleich die Reibung zu berücksichtigen, die im Verhältnisse des Halbmessers der Axe zu dem der Rolle abnimmt[2], und die Steifheit der Seile, die noch eine specielle Untersuchung verdient.

M.

---

1 Vergl. *Flaschenzug*. Bd. IV. S. 430.
2 Vergl. *Reibung*.

Ende des siebenten Bandes.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Widener Library
3 2044 089 527 121
Digitized by Google